



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Sistema de Gestión Energética (SGEn) basado en medidores  
inteligentes y plataforma de monitoreo para promover la eficiencia  
energética y la cultura de uso sostenible en laboratorios y aulas en  
un campus universitario usando NILM (Non-Intrusive load  
monitoring).”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA CON MENCIÓN EN  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**Presentada por:**

**Luis Alberto Pesantes Ocampo**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2024**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mis padres, Alberto y Estela, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me han dado el ejemplo de que todo sueño es alcanzable.

A mi hermana Ximena por su cariño y apoyo incondicional, y por estar conmigo en todo momento.

Finalmente, dedico este trabajo a todas y cada una de las personas que, supieron extender su mano hacia mí en señal de apoyo y motivación.

**Luis Alberto Pesantes Ocampo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a toda mi familia y amigos que de alguna manera siempre estuvieron conmigo brindándome su apoyo en los buenos y sobre todo en los malos momentos.

A mis tutores quien con el respectivo conocimiento y paciencia han permitido el desarrollo de este trabajo.

Mi más grande y sincero agradecimiento al Ph.D. Miguel Torres por ser un gran maestro, amigo, consejero y ejemplo a seguir.

También al Ph.D. Juan Peralta por su guía y apoyo durante el proceso académico de la maestría.

**Luis Alberto Pesantes Ocampo**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

---

**Luis Alberto Pesantes  
Ocampo**

# **TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

---

**Miguel Torres., Ph.D.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Juan Peralta., Ph.D.**

**VOCAL**

## RESUMEN

La eficiencia energética y el uso sostenible de la energía son temas de gran relevancia en la actualidad debido al aumento de la demanda energética y los efectos del cambio climático. Los edificios educativos, como los laboratorios en los campus universitarios, consumen una cantidad significativa de energía, por lo cual resulta crucial implementar sistemas que promuevan la eficiencia energética y fomenten una cultura de uso sostenible en estos espacios. En este trabajo se diseña una propuesta de un Sistema de Gestión de Energía basado en medidores inteligentes y una plataforma de monitoreo existente que utiliza la técnica de NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) para promover la eficiencia energética en los entornos universitarios. Como punto de partida se realiza un análisis preliminar de los datos de consumo energético obtenidos de un medidor de energía, luego se implementa un agrupamiento de información para identificar focos de consumo y cargas críticas de la curva de consumo mediante machine learning. En seguida, se ejecuta un modelo de NILM para obtener la desagregación de las cargas eléctricas individuales a partir de la medición agregada, para finalmente generar políticas energéticas con recomendaciones personalizadas para el laboratorio. Los resultados mostraron que el aire acondicionado, iluminación y computadoras representaban los principales focos de consumo, además en la curva desagregada de cargas se logró identificar patrones de uso y consumo ineficientes dentro del laboratorio, permitiendo así el planteamiento de una propuesta de SGEEn enfocado en optimización del consumo de energía en laboratorios y aulas, crucial para lograr una gestión eficiente y sostenible de los recursos energéticos.

**Palabras Clave:** Monitoreo, Técnicas NILM, SGEEn, Sostenibilidad.

## **ABSTRACT**

*Energy efficiency and sustainable energy use are highly relevant issues today due to increasing energy demand and the effects of climate change. Educational buildings, such as laboratories on university campuses, consume a significant amount of energy, making it crucial to implement systems that promote energy efficiency and foster a culture of sustainable use in these spaces. This study designs a proposal for an Energy Management System based on smart meters and an existing monitoring platform that uses the NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) technique to promote energy efficiency in university environments. As a starting point, a preliminary analysis of the energy consumption data obtained from an energy meter is performed, then a clustering of information is implemented to identify consumption hotspots and critical loads of the consumption curve using machine learning. Next, a NILM model is run to obtain the disaggregation of the individual electrical loads from the aggregated measurement, to finally generate energy policies with customized recommendations for the laboratory. The results showed that air conditioning, lighting and computers represented the main sources of consumption. In addition, the disaggregated load curve identified inefficient use and consumption patterns within the laboratory, thus allowing the development of a SGen proposal focused on optimizing energy consumption in laboratories and classrooms, which is crucial to achieve efficient and sustainable management of energy resources.*

*Keywords: Monitoring, NILM Techniques, SGen, Sustainability.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	10
1.    Introducción.....	10
1.1    Descripción del problema .....	11
1.2    Justificación del problema .....	12
1.3    Objetivos .....	13
1.3.1    Objetivo General.....	13
1.3.2    Objetivos Específicos.....	13
1.4    Alcance .....	14
1.5    Revisión de la literatura .....	15
1.5.1    Eficiencia Energética y sostenibilidad .....	15
1.5.2    Tecnologías emergentes en Gestión energética .....	18
1.5.3    Sistemas de gestión de la energía (SGEn) .....	20
1.5.4    Gestión de la eficiencia energética: Cálculo del consumo, indicadores y mejora. 23	
1.5.5    ISO 50001 .....	24
1.5.6    NILM: Non-Intrusive Load Monitoring.....	26
1.5.7    Medidores inteligentes y su función .....	28
1.5.8    Evaluación de resultados y Métricas .....	29



1.5.9	Plataforma de Monitoreo para la eficiencia energética.....	30
CAPÍTULO 2.....		31
2.	Metodología.....	31
2.1	Línea Base energética de laboratorios y aulas .....	32
2.1.1	Datos de consumo del laboratorio de Sistemas Telemáticas. ....	32
2.1.2	Obtención de datos de plataforma de monitoreo.....	33
2.1.3	Levantamiento de cargas actuales.....	34
2.2	Desagregación de cargas usando NILM.....	35
2.2.1	Estudio previo a la desagregación .....	37
2.2.2	Optimización Combinatoria (CO) .....	38
2.3	Diseño del SGEN.....	40
2.3.1	Contexto de la organización.....	41
2.3.2	Liderazgo del SGEN.....	42
	Política Energética. ....	43
	Asignación de roles, responsabilidades y autoridades del SGEN. ....	43
2.3.3	Planificación del sistema de gestión de la energía .....	44
2.3.4	Apoyo del SGEN .....	45
2.3.5	Operación del SGEN.....	46
2.3.6	Evaluación de desempeño.....	46
2.3.7	Mejora continua del SGEN .....	47
CAPÍTULO 3.....		49
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	49
3.1	Resultados del levantamiento de información del laboratorio. ....	49
3.1.1	Perfiles, Histórico, y focos de consumo.....	51
3.1.2	Análisis de tendencias de consumo y línea base energética.....	52

3.2	Resultados de la desagregación de cargas utilizando aprendizaje no supervisado.....	53
3.2.1	Identificación de los estados de potencia con la técnica de machine learning k-means.	54
3.2.2	Cargas representativas de las aulas, laboratorios, edificios .....	55
3.2.3	Identificación de focos de fugas de consumo y cargas críticas. ....	56
3.3	Propuesta de diseño del SGEN en base a resultados NILM. ....	57
3.3.1	Compromisos de la Alta Dirección .....	57
3.3.2	Planificación energética .....	58
3.3.3	Implementación y operación .....	59
3.4	Trabajo Futuro.....	62
CAPÍTULO 4 .....		63
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	63
	Conclusiones .....	63
	Recomendaciones .....	64
BIBLIOGRAFÍA .....		65

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SGE <sub>n</sub>	Sistema de gestión de la energía
NILM	Non-Intrusive Load Monitoring
PREC	Personalized Recommendations for Efficient Consumption
ISO	International Organization for Standardization
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
IoT	Internet de las cosas
SG	Smart Grids

## SIMBOLOGÍA

kW	Kilovatio
MW	Megavatio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
kVA	Kilovoltio-amperio
W	Vatio
kWh	Kilovatio-hora
Ah	Amperio-hora
°C	Grado centígrado
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
V	Voltio
A	Amperio
Kg	Kilogramo
Hz	Hertz

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Beneficios de la eficiencia energética y sostenibilidad en entornos educativos y empresariales( <i>Energía Sostenible: Optimizando La Eficiencia Energética</i> , n.d.).	16
Figura 1.2. Enfoque institucional según la UNESCO	18
Figura 1.3 Sistemas de gestión de energía telemáticos	20
Figura 1.4 Modelo de gestión de la energía según la Norma ISO 50001	25
Figura 1.5 Enfoque clásico de NILM por Hart (1992)	27
Figura 1.6 Esquema de arquitectura de un sistema de monitoreo inteligente (Marchesoni et al., 2020)	29
Figura 1.7 Ubicación Geográfica de los bloques monitoreados por ESPOL	30
Figura 2.1 Metodología para el diseño de la propuesta de SGEN	31
Figura 2.2 Módulo histórico de consumo de energía en kWh típico de una plataforma de monitoreo (Plataforma PREC-ESPOL)	33
Figura 2.3 Módulo Levantamiento de cargas de la plataforma de monitoreo (Plataforma PREC-ESPOL)	34
Figura 2.4 Pasos para el enfoque de optimización de NILM supervisado y no supervisado(Adaptado de Marcos Wittmann, 2017)	36
Figura 2.5 Perfil de consumo diario del laboratorio seleccionado para un día típico de trabajo	37
Figura 2.7 Ruta a seguir para la planificación del SGEN	44
Figura 3.1 Distribución de consumo de los diferentes equipos encontrados en el laboratorio	50
Figura 3.2 Curvas de potencia diaria de una semana típica de consumo del laboratorio	51
Figura 3.3 Perfil de consumo de energía por fase	53
Figura 3.4 Resultados del Método del codo y el índice de silueta para los datos de potencia	54
Figura 3.5 Gráfico de dispersión de la potencia y energía diaria en k-means	55
Figura 3.6 Resultados de la desagregación de cargas utilizando el modelo de optimización combinatoria	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Resumen de eventos históricos sobre el surgimiento de los SGEN .....	21
Tabla 2.1 Muestra de la data entregada por el medidor de energía.....	32
Tabla 2.2 Datos de equipos y potencia instalada en el laboratorio de sistemas telemáticos .....	35
Tabla 3.1 Etiquetas a los circuitos de consumo del laboratorio. ....	49
Tabla 3.2 Identificación y asignación de cargas a cada centroide del grupo.....	55
Tabla 3.3 Metas específicas e Indicadores para la propuesta de SGEN .....	59
Tabla 3.4 Implementación y Operación del SGEN propuesto .....	59
Tabla 3.5 Procedimientos de control y monitoreo NILM .....	60
Tabla 3.6 Contenido de control Operativo .....	60
Tabla 3.7 Mejora Continua SGEN.....	61

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la era actual, caracterizada por un crecimiento acelerado de la demanda energética y una creciente conciencia ambiental, la eficiencia energética se ha convertido en un imperativo ineludible; en Ecuador la demanda de energía en el 2022 presentó un incremento del 4.51% respecto al año anterior, siendo un récord histórico de crecimiento (*INFORME ANUAL 2022*, n.d.). Las instituciones educativas, siendo núcleos de conocimiento y formación, desempeñan un papel fundamental en la promoción de prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías que minimizan su impacto ambiental. En este contexto, el presente proyecto se centra en diseñar una propuesta innovadora: un Sistema de Gestión Energética basado en medidores inteligentes y la técnica de Monitoreo de Cargas No Intrusivo (NILM) considerando la norma ISO 50001. Este sistema está destinado a transformar la manera en que se utiliza y se gestiona la energía eléctrica en los laboratorios y aulas de una facultad dentro de un campus universitario.

La necesidad de abordar la gestión de la energía eléctrica en entornos educativos no solo surge de la presión para reducir costos operativos, sino también de la responsabilidad compartida de crear un ambiente propicio para el aprendizaje y la investigación, que a su vez respete y proteja nuestro entorno. Los medidores inteligentes se presentan como herramientas esenciales en este contexto, proporcionando datos detallados y en tiempo real sobre el consumo energético, en este trabajo PREC. La integración de la técnica NILM amplía la capacidad de este sistema, permitiendo la identificación y monitorización no intrusiva de los diferentes dispositivos eléctricos, lo que posibilita una gestión más precisa y personalizada. A través de la implementación de esta propuesta, se busca fomentar la eficiencia energética y la cultura de uso sostenible de la energía en la comunidad académica. La recopilación y análisis de datos detallados permitirán identificar patrones de consumo, detectar posibles ineficiencias y promover la adopción de comportamientos más sostenibles. Además, al aprovechar la tecnología existente de monitoreo, se garantiza una integración eficiente y la maximización de recursos previamente invertidos.

Este proyecto no solo aborda cuestiones prácticas de gestión energética, sino que también se sumerge en el terreno de la innovación tecnológica y la responsabilidad social. Este trabajo aspira a contribuir al cuerpo de conocimiento en el campo de la gestión energética en entornos educativos, sirviendo como un modelo replicable y adaptativo para otras instituciones con objetivos similares. En última instancia, este proyecto se alinea con la visión de un campus universitario más eficiente, sostenible y comprometido con el bienestar del planeta.

## **1.1 Descripción del problema**

En el contexto de una facultad en un campus universitario, la optimización del consumo de energía en laboratorios y aulas es crucial para lograr una gestión eficiente y sostenible de los recursos. La falta de información en tiempo real sobre el consumo energético en estos espacios y la ausencia de una cultura de uso responsable pueden llevar a un uso ineficiente y al desperdicio de energía, el campus Gustavo Galindo de ESPOL, tuvo un consumo eléctrico anual de 10,305.400 kWh en el 2022(*Energía y Cambio Climático | Sostenibilidad ESPOL*, n.d.) lo que representa por sí solo más del 2% del consumo de toda la ciudad de Guayaquil, en este se tiene un desconocimiento detallado del consumo lo que conlleva a desperdicio energético desapercibido y ausencia de personalización, no comprender sus patrones de uso impide la implementación de estrategias de ahorro de energía personalizadas para diferentes espacios y laboratorios. Las instituciones educativas enfrentan una demanda creciente de energía eléctrica debido a la expansión de infraestructuras, el aumento de dispositivos electrónicos y la creciente dependencia de laboratorios y aulas altamente tecnológicas. A pesar de esta creciente demanda, la gestión energética sigue siendo, en muchos casos, reactiva y carente de la precisión necesaria para abordar las complejidades actuales. La problemática para resolver es el nivel de ineficiencia y gasto innecesario de energía visto desde la óptica de la ocupación, usabilidad, de la demanda y de la eficiencia de los equipos o espacios monitoreados. Por el lado de la economía, se tienen costos y recursos Limitados: Consideraciones presupuestarias y limitaciones de recursos requieren soluciones que maximicen la eficiencia sin generar costos adicionales significativos, que puede ser resuelta mediante la implementación de



un sistema innovador de gestión energética que utilice medidores inteligentes y una plataforma de monitoreo existente, y técnicas de NILM para mejorar la eficiencia energética y promover una cultura de uso sostenible en laboratorios y aulas.

## 1.2 Justificación del problema

La ausencia de mediciones precisas y en tiempo real del consumo de energía impide una comprensión detallada de los patrones de uso y las áreas de ineficiencia, esto resulta en una gestión reactiva y en la incapacidad para implementar estrategias proactivas que optimicen el consumo energético. La problemática se agrava por la falta de capacidad para identificar dispositivos específicos y entender sus patrones de consumo. La ausencia de un sistema NILM impide la personalización de estrategias de ahorro de energía para áreas y dispositivos específicos. Esta falta de granularidad en la gestión energética conlleva a un desperdicio innecesario de recursos y a la incapacidad para adaptar las estrategias a las necesidades específicas de cada espacio dentro de la facultad

Investigaciones recientes han abordado el tema de los sistemas de gestión energética en entornos educativos (Brychkov et al., 2023), destacando casos de éxito y enfoques innovadores. Estos estudios han buscado mejorar la eficiencia energética, reducir los costos operativos y promover la sostenibilidad en las instituciones educativas. Así como en (Oswaldo et al., n.d.) estudio que se enfocó en la implementación de un sistema de gestión energética en un ambiente de la universidad, utilizando tecnología de automatización para controlar y monitorear los consumos de energía en los edificios. Se destacaron estrategias como la implementación de sistemas de monitoreo y control, la capacitación del personal y la participación de la comunidad educativa en iniciativas de eficiencia energética. Los resultados resaltaron la importancia de una gestión energética integral y el papel fundamental de la educación en la promoción de prácticas sostenibles

Resulta crucial implementar sistemas que promuevan la eficiencia energética y fomenten una cultura de uso sostenible en estos espacios (*ESPOL Se Suma al Programa Ecuador Carbono Cero (PECC)*, n.d.). Los métodos de monitoreo de carga no intrusiva (NILM) se han convertido en una de las alternativas más

adecuadas para desagregar energía, ya que proporcionan un método para analizar el consumo individual de varios dispositivos respetando la privacidad del consumidor y, a menudo, utilizando medidores inteligentes ya implementados (Donato et al., 2022) . El desarrollo de estos enfoques NILM también está impulsado por la importancia reciente de varias áreas emergentes, como Internet de las cosas (IoT), Smart Grid (SG) o programas de respuesta a la demanda de energía de calidad (DR), donde la información proporcionada por NILM podría ser útil para tomar decisiones de desarrollo o servicio posteriores (Ruano et al., 2019a).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una propuesta de un Sistema de Gestión Energética basado en medidores inteligentes y una plataforma de monitoreo existente que utilice la técnica de NILM (Non-Intrusive Load Monitoring), promoviendo la eficiencia energética y la cultura de uso sostenible de la energía eléctrica en los laboratorios y aulas de una facultad en un campus universitario.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Construir una línea base energética mediante un relevamiento detallado del consumo energético actual en los laboratorios y aulas de la facultad (tomando los datos de los medidores inteligentes instalados, y de una plataforma de monitoreo).
- Aplicar algoritmos de NILM que permita la desagregación de cargas representativas de laboratorios/aulas.
- Analizar detalladamente los patrones de consumo de energía en los laboratorios y aulas, identificando los momentos de mayor y menor demanda en horarios laborables y no laborables, teniendo en cuenta las actividades académicas y la disponibilidad de los espacios; frente a la línea base establecida.
- Diseñar un SGE considerando el ciclo Deming (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) la norma ISO 50001 que permita el establecimiento de estrategias de eficiencia energética basadas en visualización, monitoreo y recomendaciones.

#### **1.4 Alcance**

Para el presente trabajo de titulación se propone el diseño de un sistema de gestión de la energía, enfocado en la utilización de medidores inteligentes en tiempo real y la integración con una plataforma de monitoreo existente junto con técnicas de NILM en el campus universitario para obtener datos precisos sobre el consumo de energía en los diferentes sectores de la facultad. La información recopilada permitirá identificar oportunidades de mejora y desarrollar estrategias personalizadas de gestión energética, se proporcionará una Línea Base detallada que documentará el consumo energético actual en los laboratorios y aulas seleccionados de la facultad. Este análisis exhaustivo sentará las bases para comprender y optimizar el uso de la energía en dichos espacios. Además, se aplicarán modelos de Desagregación NILM adaptado a cada edificio seleccionado, permitiendo la identificación y monitorización específica de dispositivos eléctricos, facilitando así la toma de decisiones informadas en términos de eficiencia energética. Un Informe de Comparación de Patrones de Consumo ofrecerá una evaluación detallada de las tendencias y variaciones, destacando momentos de mayor y menor demanda y brindando información valiosa para estrategias futuras. Por último, se entregará un SGE en mínimo requerido, con funcionalidades clave como tipo de consumo y comportamiento de usuarios sustentadas en lo establecido por la norma ISO 50001 adaptadas a las aulas seleccionadas, proporcionando una herramienta integral para la gestión activa y sostenible de la energía en el entorno universitario.

## **1.5 Revisión de la literatura**

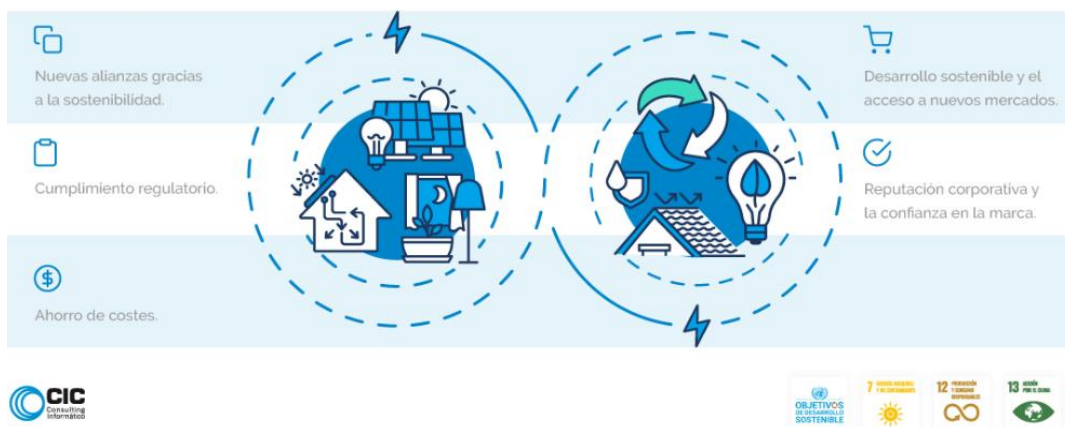
En esta sección de revisión de literatura, se explorarán los fundamentos teóricos y las investigaciones previas relacionadas con el uso de medidores inteligentes, la técnica NILM y las plataformas de monitoreo existentes. Se examinan, metodologías aplicadas y lecciones aprendidas en iniciativas similares, proporcionando un marco contextual que respalde el diseño y la implementación de nuestro Sistema de Gestión Energética. Además, se abordarán aspectos clave como la eficiencia energética, la sustentabilidad y la adopción de tecnologías innovadoras en el ámbito educativo.

### **1.5.1 Eficiencia Energética y sostenibilidad**

Hablar de eficiencia energética y sostenibilidad involucra una serie de factores relacionados directamente con el ahorro de energía y el uso responsable de los recursos, de este surge el termino energía sostenible; La energía sostenible se describe como aquella capaz de cubrir la demanda actual de energía sin poner en riesgo las necesidades de las generaciones venideras. Se distingue por su capacidad de regenerarse de forma natural, sin agotarse por su utilización, aunque su capacidad pueda reducirse ligeramente. Algunos de los beneficios de adoptar medidas que aporten a esta causa se muestran en la Figura 1.1, metas que se persiguen para un bien social común, a continuación, se describen algunos términos y conceptos importantes que resultan vitales entender(Zhovkva, n.d.).

## SOSTENIBILIDAD

### EFICIENCIA ENERGÉTICA



**Figura 1.1 Beneficios de la eficiencia energética y sostenibilidad en entornos educativos y empresariales (*Energía Sostenible: Optimizando La Eficiencia Energética*, n.d.).**

#### **a. Conceptos clave de la eficiencia energética**

El concepto clave de eficiencia energética se refiere a la capacidad de alcanzar los mejores resultados en una determinada actividad, utilizando la menor cantidad posible de recursos energéticos, por ejemplo; climatizar un área de oficinas, el ser eficiente en esta tarea se asocia a lograr un diseño que pueda dar el confort adecuado a las personas reduciendo al mínimo el gasto de electricidad. Gracias a ello, podemos reducir el consumo de cada tipo de energía y, por tanto, reducir el posible impacto en el medio ambiente. Esto se aplica al período comprendido entre la producción de esta energía y su consumo final (Torres, 2020).

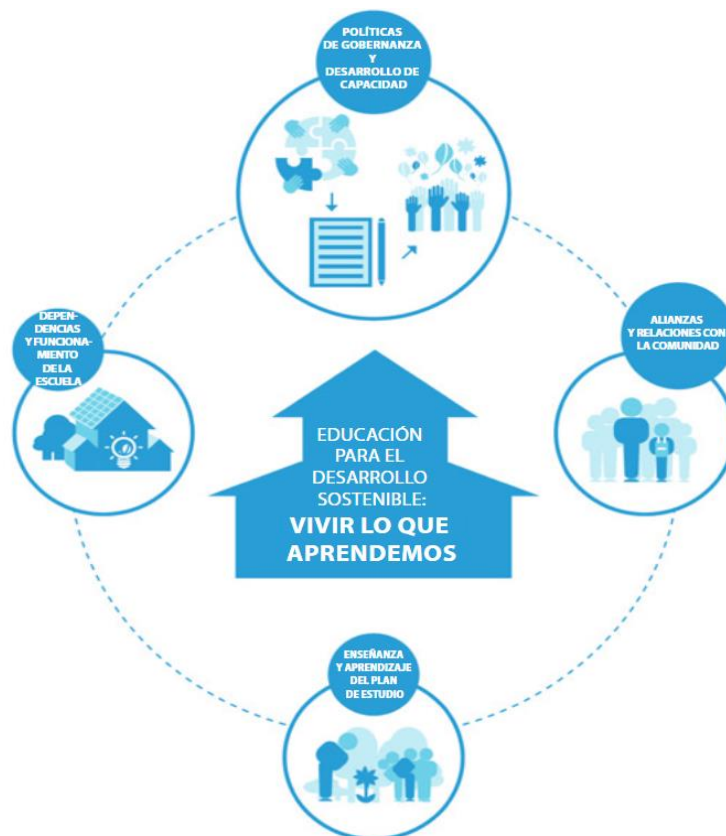
#### **b. Concepto básico de la sostenibilidad**

A pesar de lo complicado que puede resultar definir la sostenibilidad, como se explicó al inicio de esta sección en el marco energético esta se puede definir como la energía que no se agota con su uso, y dentro de esta definición ingresa la eficiencia energética. En este trabajo se aborda el tema de monitoreo energético, el cual se convierte en un componente esencial en cualquier enfoque de sostenibilidad, ya que posibilita obtener información sobre el comportamiento del consumo, registrar y analizar los datos,

descubrir posibilidades de ahorro, implementar acciones de mejora y evaluar la progresión de las medidas aplicadas (Liu et al., 2019a).

**c. Importancia de la sostenibilidad en entornos educativos**

Como se evidencia en la sección 1.2 descripción del problema, una institución educativa de nivel superior dependiendo de su tamaño puede llegar a ser un gran consumidor para la red energética nacional, en este ámbito las universidades juegan un papel importante en el cuidado del entorno, no solo desde el punto de vista técnico como consumidor, sino desde una perspectiva de formación humana; La importancia de la sostenibilidad en entornos educativos universitarios radica en la capacidad de moldear el pensamiento y la acción de los futuros profesionales y líderes en diversas disciplinas. En primer lugar, la sostenibilidad en las universidades promueve la conciencia ambiental al educar a los estudiantes sobre los desafíos ambientales y la importancia de prácticas respetuosas con el medio ambiente. Además, al integrar la sostenibilidad en la educación universitaria, se fomenta la investigación y la innovación en áreas relacionadas con el desarrollo sostenible, contribuyendo así a la generación de soluciones a problemas globales (Brundiers et al., 2021).



**Figura 1.2. Enfoque institucional según la UNESCO**

La Figura 1.2 presenta el enfoque para la educación, tomar en consideración todas las acciones de eficiencia energética resultan en el aporte a los ODS. Una de las metas es lograr el Objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” y alineado con el Objetivo 7 “energía asequible y no contaminante”, mediante la implementación de indicadores de eficiencia energética en todos entornos de desarrollo de económico(Zhovkva, n.d.).

### **1.5.2 Tecnologías emergentes en Gestión energética**

Con metas a alcanzar la eficiencia energética en todo ámbito de consumo, a dado como resultado el la inversión y desarrollo de instituciones y empresas en técnicas modernas para gestión energética, con el auge de la inteligencia artificial y evolución tecnológica se presentan modernos sistemas tecnológicos que habilitan una adecuada gestión energética(Liu et al., 2019b). Algunas de estas tecnologías incluyen:

- IoT (Internet de las cosas): La integración de sensores y dispositivos conectados permite la monitorización en tiempo real de los consumos

energéticos. Esto posibilita una gestión más precisa y eficiente, facilitando la identificación de áreas de mejora y el control remoto de sistemas.

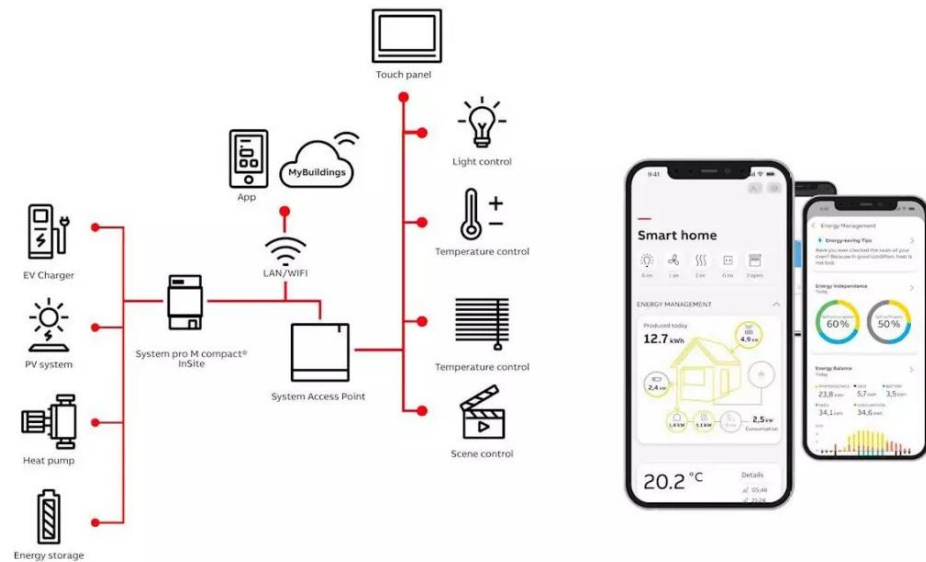
- **Inteligencia Artificial (IA):** La IA se utiliza para analizar grandes conjuntos de datos y optimizar la eficiencia energética. Puede prever patrones de consumo, identificar oportunidades de ahorro y mejorar la planificación y operación de los sistemas energéticos.
- **Blockchain:** En el ámbito de la gestión energética, la tecnología blockchain se utiliza para establecer sistemas descentralizados y seguros que facilitan la transacción de energía entre productores y consumidores. Esto puede impulsar modelos de energía más eficientes y sostenibles.
- **Almacenamiento de energía avanzado:** Desarrollos en tecnologías de almacenamiento, como baterías de estado sólido y sistemas avanzados de almacenamiento térmico, permiten una gestión más eficiente de la energía renovable, mejorando la estabilidad de las redes eléctricas
- **Redes inteligentes (Smart Grids):** Estas redes utilizan tecnologías de comunicación para gestionar de manera eficiente la generación y distribución de energía. Permiten la integración de fuentes renovables, el monitoreo en tiempo real y la respuesta rápida a cambios en la demanda.
- **Energía renovable distribuida:** La generación descentralizada de energía a través de paneles solares, turbinas eólicas y otras fuentes renovables se está volviendo más accesible. La gestión eficiente de estas fuentes distribuidas es esencial para optimizar su contribución a la red.
- **Realidad aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV):** Estas tecnologías se utilizan para simular y visualizar escenarios energéticos, facilitando la planificación y la toma de decisiones estratégicas en la gestión de recursos.

#### **Telemetría en la gestión energética**

la combinación de las tecnologías de la comunicación y la informática da origen a la Telemática basada en el envío y recepción de datos. La



telemetría desempeña un papel crucial en la gestión energética al permitir la recopilación, monitoreo y transmisión remota de datos relacionados con el consumo y la generación de energía.



**Figura 1.3 Sistemas de gestión de energía telemáticos**

La Figura 1.3 ilustra como la tecnología utiliza sistemas de medición electrónica y comunicación para adquirir información en tiempo real sobre variables energéticas, como el consumo eléctrico, la generación de energía renovable y otros parámetros relevantes. La telemetría en la gestión energética posibilita la supervisión constante de activos, facilita la detección temprana de posibles problemas y permite la toma de decisiones informadas para optimizar la eficiencia operativa (Motlagh et al., 2020).

### 1.5.3 Sistemas de gestión de la energía (SGEn)

Históricamente, los esfuerzos en materia energética se han centrado mayormente en el corto plazo, sin dar la debida prioridad a acciones planificadas a mediano y largo plazo. Esta falta de enfoque temporal estratégico puede resultar en beneficios fluctuantes. Por otro lado, un SGEn que dirige sus acciones hacia el mediano y largo plazo tiene la capacidad de generar beneficios sostenibles para la organización a lo largo del tiempo. Este enfoque estratégico permite no solo reducciones inmediatas en el

consumo de energía, sino también la implementación de medidas que perduren y evolucionen conforme cambian las condiciones y tecnologías disponibles.

#### a. Surgimiento de los SGEN

El surgimiento de los Sistemas de Gestión Energética (SGEn) ha sido una respuesta a la creciente conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética y la necesidad de abordar los desafíos asociados con el consumo de energía en diversas organizaciones, la Tabla 1.1 resume estos eventos que han marcado el inicio de los SGEN.

**Tabla 1.1 Resumen de eventos históricos sobre el surgimiento de los SGEN**

Resumen Histórico de los SGEN	
Año	Evento
1970	Desafíos derivados de la crisis petrolera. Administración de la producción y adquisición de energía, servicios energéticos y preservación de recursos energéticos.
1988	Desarrollo de programas de eficiencia energética aplicados a la industria.
1990	Australia: AS 3595. Programas de Gestión Energética – Guía para evaluación financiera de proyectos
1992	Australia: AS 3596. Programas de Gestión Energética – Guía para definición y análisis de ahorro de energía y costos.
1995	EE. UU.: ANSI 739. IEEE Recomendación práctica para la Gestión Energética en instalaciones industriales y comerciales. Canadá: Plus 1140. Guía para la gestión energética voluntaria. China: GB/T 15587. Guía para la gestión energética en las empresas industriales
2000	EE. UU.: ANSI/MSE 2000: 2000
2001	Dinamarca: DS 2403: 2001
2003	Suecia: SS 627750: 2003
2005	Irlanda: I.S. 393: 2005 Holanda: Sistema de Gestión Energética – Guía para uso
2007	Alemania: Gestión energética – Términos y definiciones
2009	Sudáfrica: SANS 879: 2009, China: GB/T 23331: 2009, Europa: EN 16001: 2009
2011	Estándar Internacional ISO 50001: 2011

## **b. Definición de un SGEN**

Un Sistema de Gestión Energética (SGEn) representa una metodología orientada a lograr una mejora continua y sostenida en el rendimiento energético de las organizaciones de manera eficiente en costos. La implementación de un SGEn no debe considerarse como un fin en sí mismo, sino más bien como un medio para alcanzar el objetivo fundamental de mejorar el desempeño energético. Este mejoramiento se deriva de los resultados de las acciones llevadas a cabo en todo el sistema. Bajo esta perspectiva, la eficacia de un SGEn dependerá en gran medida del compromiso y la disposición de todos los participantes dentro de la organización para gestionar tanto el uso como los costos asociados a la energía. Esto implica realizar los ajustes necesarios en la rutina diaria para facilitar estas mejoras y lograr una reducción efectiva de los costos (Roger et al., n.d.). Un SGEn proporciona diversos beneficios a las organizaciones, entre los cuales se incluyen:

- **Facilita la Identificación y Selección de Acciones para la Mejora Energética:** Ayuda a identificar, priorizar y seleccionar acciones que mejoren el desempeño energético, considerando su potencial de ahorro y los niveles de inversión requeridos.
- **Optimización de Recursos Energéticos:** Contribuye a la reducción de costos al maximizar el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles.
- **Estímulo a la Productividad y Crecimiento:** Impulsa la productividad al favorecer un mayor aprovechamiento y reducción del desperdicio de energía, lo que también promueve el crecimiento organizacional.
- **Promoción de Mejores Prácticas de Gestión Energética:** Fomenta la adopción de prácticas óptimas en la gestión de la energía, contribuyendo a una operación más eficiente.

- **Garantía de Calidad en la Toma de Decisiones:** Asegura la confiabilidad y calidad de la información utilizada para la toma de decisiones relacionadas con el desempeño energético.
- **Integración con Sistemas de Gestión Existentes:** Facilita la integración con sistemas de gestión ya implementados en la organización, promoviendo la coherencia y eficacia en los procesos.
- **Desarrollo de Capacidades Organizacionales:** Contribuye al desarrollo de capacidades dentro de la organización, fortaleciendo las habilidades y conocimientos relacionados con la gestión de la energía.
- **Cultura Organizacional Orientada a la Gestión Energética:** Genera una cultura organizacional centrada en la gestión efectiva de la energía, involucrando a todos los miembros en la búsqueda de mejoras continuas y sostenibles.

#### **1.5.4 Gestión de la eficiencia energética: Cálculo del consumo, indicadores y mejora.**

**Cálculo del Consumo Energético:** En todo proceso de gestión implica cuantificar de manera precisa y detallada el consumo de energía en diferentes áreas o procesos de la organización incluyendo la identificación de fuentes de consumo, como equipos, sistemas de iluminación y maquinaria, para obtener una visión completa del gasto energético.

**Utilización de Indicadores de Eficiencia Energética:** Emplea indicadores específicos para evaluar y medir la eficiencia energética en la organización. Ejemplos de indicadores pueden ser el consumo energético por unidad de producción, la intensidad energética o la eficiencia de equipos particulares.

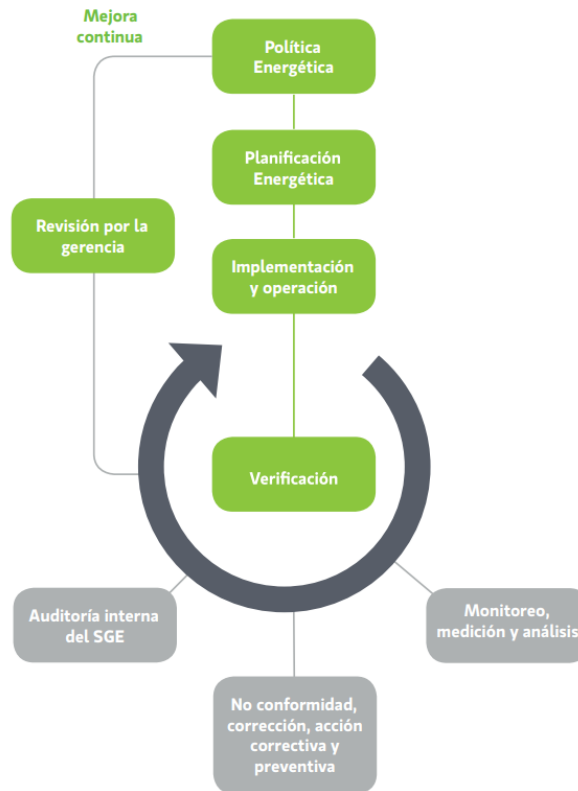
**Implementación de Mejoras en la Eficiencia Energética:** Basándose en los resultados del cálculo y la evaluación de indicadores, se diseñan e implementan medidas para mejorar la eficiencia energética. Estas mejoras pueden incluir la actualización de equipos a versiones más eficientes, la optimización de procesos, la introducción de tecnologías más avanzadas y la adopción de prácticas más sostenibles (Norma, 2018).

### **1.5.5 ISO 50001**

La Norma ISO 50001 es un estándar internacional que establece los requisitos para un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn). Publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y actualizada en el 2018, la norma ISO 50001 proporciona un marco sistemático para que las organizaciones gestionen su consumo de energía de manera eficiente, identifiquen oportunidades de mejora continua y reduzcan sus costos energéticos.

Objetivo Principal: La ISO 50001 tiene como objetivo principal ayudar a las organizaciones a establecer sistemas y procesos para mejorar continuamente su desempeño energético, incluida la eficiencia, el uso responsable de los recursos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Ciclo PDCA: Se basa en el ciclo Planificar, Hacer, Verificar, Actuar (PDCA), un enfoque estructurado para la mejora continua cuyos componentes se ilustran en la Figura 1.4. Esto implica la planificación de acciones para mejorar la eficiencia energética, su implementación, la verificación de los resultados y la toma de medidas correctivas según sea necesario.



**Figura 1.4 Modelo de gestión de la energía según la Norma ISO 50001.**

Requisitos de la Norma: La norma establece requisitos específicos, como la identificación de aspectos energéticos significativos, la fijación de objetivos de desempeño energético, la implementación de acciones para mejorar la eficiencia y la evaluación periódica del cumplimiento de estos requisitos.

Enfoque Basado en Resultados: Se centra en los resultados, es decir, la mejora continua del desempeño energético y la consecución de objetivos específicos. Esto se logra mediante la medición y evaluación sistemática del rendimiento energético de la organización.

Beneficios: La implementación de la ISO 50001 puede proporcionar beneficios significativos, como la reducción de costos operativos, la optimización del uso de la energía, el cumplimiento de requisitos legales y la mejora de la imagen ambiental de la organización.

Aplicación Universal: La norma es aplicable a organizaciones de todos los tamaños y sectores, independientemente de su ubicación geográfica.

La adopción de la Norma ISO 50001 ayuda a las organizaciones a establecer prácticas sólidas de gestión de la energía, promoviendo la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental(Usm, 2019).

### 1.5.6 NILM: Non-Intrusive Load Monitoring

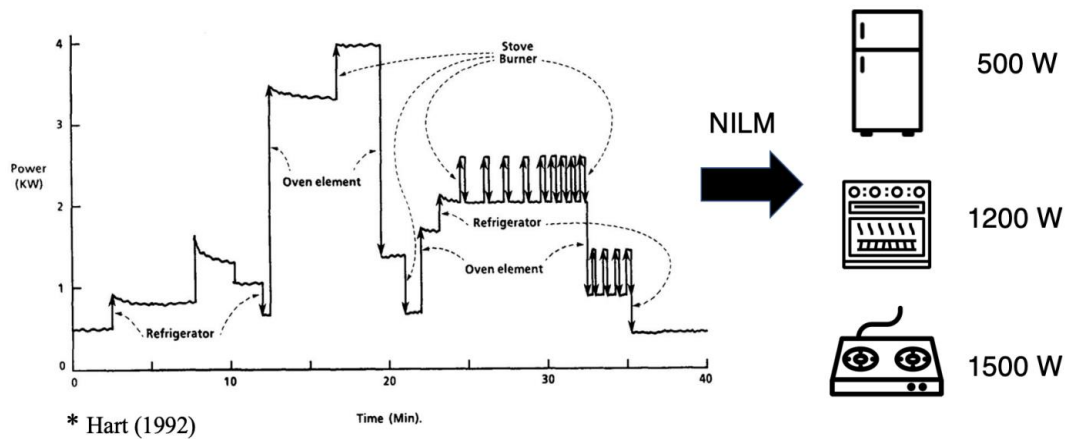
El Monitoreo No Intrusivo de Cargas Eléctricas (NILM, por sus siglas en inglés) es una técnica utilizada para analizar y desagregar el consumo de energía eléctrica de diferentes dispositivos en un hogar o un sistema eléctrico y asignas cuanta potencia consume cada aparato, sin la necesidad de instalar sensores directamente en cada dispositivo. En lugar de eso, se basa en la monitorización de la señal eléctrica global para identificar y analizar patrones característicos asociados con diferentes dispositivos(Ruano et al., 2019b).

En un sistema eléctrico de una edificación las cargas eléctricas se encuentran en paralelo, por el teorema de Tellegen la potencia que consume cada dispositivo es aditiva y debe ser igual al consumo global del sistema. Una posible expresión matemática se presenta de la siguiente manera: mediante la generación de un vector binario  $a$ , en el cual cada elemento representa el estado de encendido o apagado de un electrodoméstico mediante un 1 o un 0 respectivamente, se garantiza que la potencia en el instante de tiempo  $t$  es

$$P(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t)P_i + e(t) \quad ( 1.1 )$$

El termino  $e(t)$  corresponde al error o ruido que puede presentar la función  $P(t)$ , mientras  $P_i$  es la potencia que consume el aparato o el estado de consumo en el que se encuentra operando. Note en la expresión ( 1.1 ) el termino  $P_i$  puede significar un estado o régimen de trabajo para un aparato que funcione con más de un estado de consumo. La solución al problema se da encontrando para cada instante de tiempo  $t$  el valor  $a_i$  que minimice el error  $e$ . De este planteamiento se puede observar que no existe una solución exacta del problema y esta formulación excluye problemas como

la adquisición de los datos, procesamiento, creación y evaluación de los algoritmos.



**Figura 1.5 Enfoque clásico de NILM por Hart (1992).**

La Figura 1.5 presenta el enfoque clásico que planteo Hart en 1992, este se basa en la obtención de datos, detectar los límites de consumo de potencia activa y analizar las características de consumo para finalmente identificar los aparatos eléctricos. Para esta última tarea se puede hacer tomando en consideración dos enfoques principales: Basados en detección de estados, y los que directamente procesan la curva global de consumo. Los métodos que se basan en el segundo enfoque normalmente utilizan técnicas de aprendizaje automático y optimización.

### **Métodos supervisados y no supervisados de NILM.**

Existen diversas maneras de categorizar los métodos NILM. Por ejemplo, se pueden clasificar en enfoques supervisados o no supervisados:

*En el enfoque NILM supervisado*, se emplean las mediciones específicas de cada electrodoméstico para construir modelos, los cuales se utilizan posteriormente para desagregar el consumo. Este método presupone que se cuenta con acceso previo a las mediciones de cada dispositivo individual que contribuye al consumo total de la casa. En otras palabras, se requiere un conjunto de datos que incluya mediciones detalladas de cada electrodoméstico.

Por otro lado, *el enfoque NILM no supervisado* prescinde de la necesidad de mediciones individuales de cada electrodoméstico durante el proceso

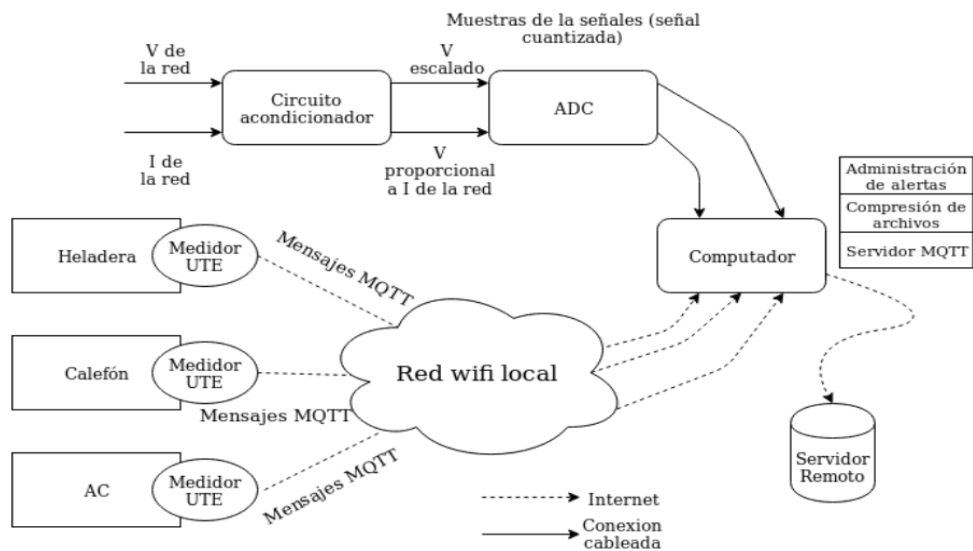


de entrenamiento. En lugar de eso, se introduce modelos generales de electrodomésticos que luego se ajustan a las características específicas de cada hogar. Este planteamiento ofrece la flexibilidad de aplicar modelos más amplios a diferentes viviendas sin la necesidad de datos específicos de cada electrodoméstico. No obstante, el desafío radica en encontrar los valores apropiados de los parámetros que deben ajustarse para que el modelo general se adapte con precisión a cada situación particular. En este contexto, la optimización de estos parámetros se convierte en un aspecto crucial para lograr una desagregación precisa del consumo de energía (IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 29. 2016 Vancouver British Columbia et al., n.d.).

#### **1.5.7 Medidores inteligentes y su función**

En este trabajo se plantea utilizar datos que provienen de medidores inteligentes instalados el campus universitario. Resulta indispensable brindar al lector una breve descripción de lo que son los medidores inteligentes, abarcando su funcionalidad y limitaciones.

Los medidores inteligentes son dispositivos que pueden recolectar mediciones de parámetros eléctricos y entregar los datos al consumidor en tiempo real. Usualmente las mediciones tienen intervalos de frecuencia por el orden de los minutos, típicamente en un rango de 5 minutos a horas.



**Figura 1.6 Esquema de arquitectura de un sistema de monitoreo inteligente**  
(Marchesoni et al., 2020)

La Figura 1.6 muestra la arquitectura de un sistema para mediciones inteligente no intrusiva, note como este no interfiere con las señales individuales ni tampoco atenta contra la privacidad de los usuarios.

### 1.5.8 Evaluación de resultados y Métricas

La disciplina de aprendizaje estadístico proporciona un marco teórico esencial para comprender los algoritmos de machine learning. Este enfoque teórico respalda la evaluación del error de generalización al emplear datos que no han sido utilizados en el proceso de entrenamiento. Dado que existen múltiples modelos potenciales, cada uno asociado con un conjunto específico de pesos, se detallan las métricas relevantes para evaluar la capacidad de generalización o rendimiento del algoritmo. Además, se introduce el concepto de un "mejor" modelo en función de estas métricas. Se registran las métricas convencionales de clasificación, como Verdaderos Positivos (TP), Verdaderos Negativos (TN), Falsos Positivos (FP) y Falsos Negativos (FN). Además, se incluyen métricas de desglose que evalúan errores en la asignación de potencia, tales como el Error Absoluto Medio (MAE) y el Error Relativo en la Energía Total (REITE) (Makonin & Popowich, 2015). Mas adelante en metodología se detalla el planteamiento de cada una de estas métricas de desempeño.

### 1.5.9 Plataforma de Monitoreo para la eficiencia energética

Las universidades que están orientando sus esfuerzos hacia a la eficiencia energética y campus sustentables normalmente cuentan o están implementando sistemas de monitoreo en tiempo real, este es el caso de la ESPOL, que cuenta con un sistema informático desarrollado con el propósito de realizar un monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico en el campus Gustavo Galindo de la ESPOL. Al momento la plataforma tiene operativos cuatros medidores en los bloques 6A Rectorado, 2A Admisiones, 11A Gobierno de FIEC, 12L ESTEM, en la Figura 1.7 se observa la ubicación de cada uno de estos bloques, con un consumo equivalente de 150,000 kWh, y un potencial de reducción de consumo de aproximadamente 2.5%.



**Figura 1.7 Ubicación Geográfica de los bloques monitoreados por ESPOL.** Este sistema tiene como objetivo identificar áreas con un consumo elevado de energía y ofrecer recomendaciones personalizadas con el fin de reducir este consumo de manera eficiente y sostenible. Además, el sistema está diseñado para emitir alertas y notificaciones, proporcionando información sobre la implementación de las recomendaciones y detectando posibles anomalías e irregularidades en el consumo de energía (*Lanzamiento PREC InnovAcción — I3LAB ESPOL - Centro de Emprendimiento e Innovación, n.d.*).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Una vez se ha presentado la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto, en este capítulo se procede a explicar la metodología para diseñar la propuesta de SGE<sub>n</sub> considerando la plataforma de monitoreo, y técnicas NILM para la desagregación de cargas. Con finalidad de ilustrar y guiar de mejor manera la aplicación de la metodología, se ha diseñado un diagrama de flujo de trabajo que se presenta a continuación.

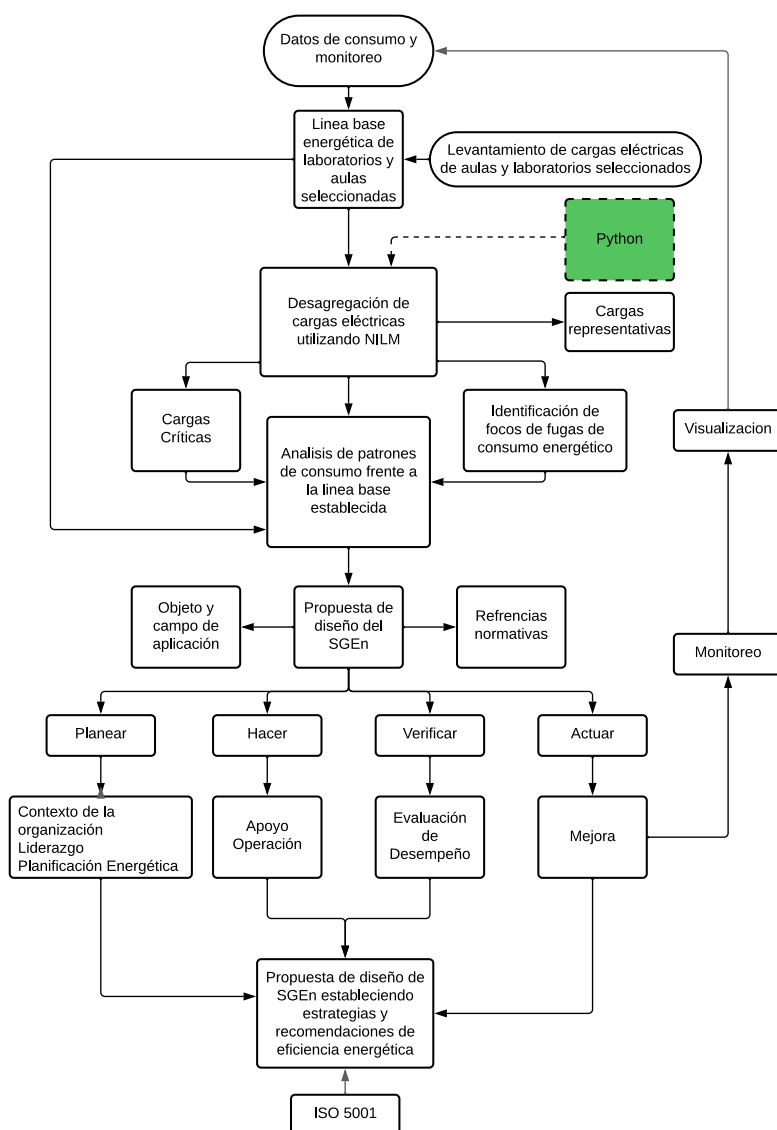


Figura 2.1 Metodología para el diseño de la propuesta de SGE<sub>n</sub>.

## 2.1 Línea Base energética de laboratorios y aulas

Este trabajo se centra en el campus Gustavo Galindo de la ESPOL, donde se levantan el laboratorio de sistemas telemáticos perteneciente al campus Gustavo Galindo de la ESPOL. La selección de estos entornos se basó únicamente en la disponibilidad de mediciones, como bien se explicó en la sección 1.9. el objeto de este estudio radica en la utilización y procesamiento de esta información para el diseño de SGEN.

### 2.1.1 Datos de consumo del laboratorio de Sistemas Telemáticas.

Los datos se obtuvieron directamente del medidor que se encuentra instalado en el laboratorio, teniendo también la posibilidad de descargarla desde su plataforma de monitoreo. La Tabla 2.1 recoge una muestra de la información entregada por el sensor de energía.

**Tabla 2.1 Muestra de la data entregada por el medidor de energía**

S.No	data	type	sensedAt	id_sensor
1	1283.78161	potencia_A	2023-07-11T10:16:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
2	451.3085242	potencia_A	2023-07-11T20:32:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
3	529.5567776	potencia_A	2023-07-12T06:48:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
4	236.5344273	potencia_A	2023-07-12T17:04:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
5	61.08211851	potencia_A	2023-07-13T03:20:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
6	990.2608903	potencia_A	2023-07-13T13:36:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
7	83.88587821	potencia_A	2023-07-13T23:52:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
8	348.9813389	potencia_A	2023-07-14T10:08:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
9	84.09468945	potencia_A	2023-07-14T20:24:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
10	80.78662876	potencia_A	2023-07-15T06:40:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
11	81.36439359	potencia_A	2023-07-15T16:56:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
12	80.04738095	potencia_A	2023-07-16T03:12:00	64ad81a0dc5442c4e0796382
13	81.23762446	potencia_A	2023-07-16T13:28:00	64ad81a0dc5442c4e0796382

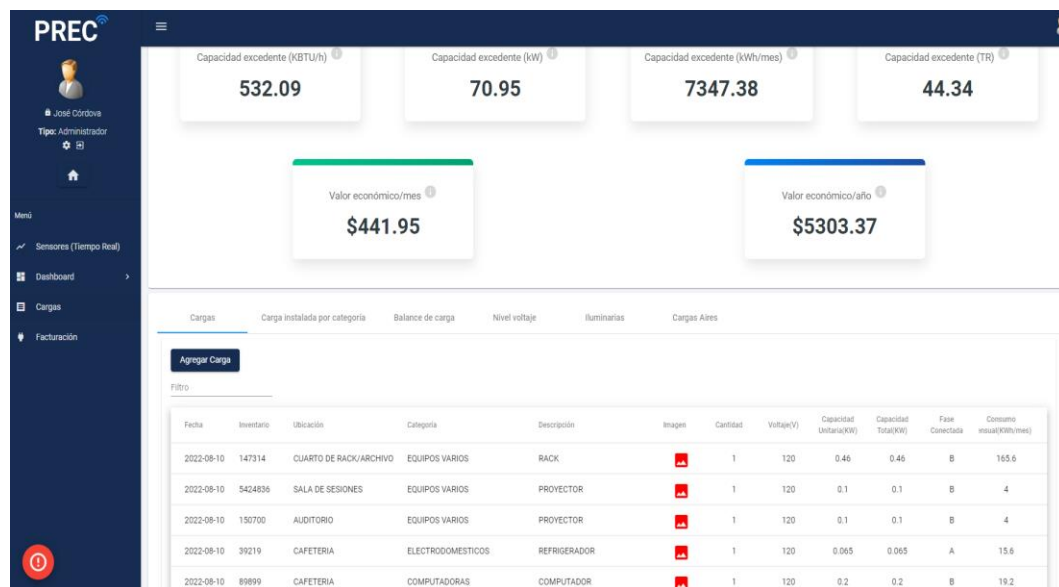
Los parámetros eléctricos monitoreados son la corriente en amperios (A), voltaje en volts (V), energía en vatios-hora (Wh), factor de potencia, y potencia consumida en vatios (W), en esta tabla específicamente se tiene la potencia consumida por la línea A, el número de muestras, y datos relacionados al tiempo e identificación de los registros. Para este estudio se dispone de 6 meses de mediciones desde 01 de julio hasta 31 de diciembre, a una frecuencia de muestreo de 10 segundos.

## 2.1.2 Obtención de datos de plataforma de monitoreo

En medida de presentar la metodología o dinámica de cómo funcionan las plataformas de monitoreo, se utiliza una plataforma existente en ESPOL. Típicamente una vez dentro de la plataforma encontramos varios módulos de información, entre los que se tienen; Históricos de datos, Datos en tiempo real, Levantamiento de carga e Histórico de facturas. Para este trabajo interesa especialmente el módulo de Histórico de datos Figura 2.2 y Levantamiento de carga Figura 2.3. De esto se accedió a la data del edificio de interés, en el capítulo 3 se presenta un análisis detallado de patrones consumo, perfiles, tendencias y cargas críticas de manera detallada.



**Figura 2.2** Módulo histórico de consumo de energía en kWh típico de una plataforma de monitoreo (Plataforma PREC-ESPOL).



**Figura 2.3 Módulo Levantamiento de cargas de la plataforma de monitoreo (Plataforma PREC-ESPOL).**

La Figura 2.3 es un ejemplo de datos de interés, para el laboratorio de sistemas telemáticos se realizó el levantamiento de los equipos de consumo más relevantes, en la siguiente sección se presenta esta información.

### 2.1.3 Levantamiento de cargas actuales

Dentro de la iniciativa que maneja ESPOL, se realizó un levantamiento de datos e inventario de equipos instalados en las edificaciones monitoreadas, el proceso para este levantamiento consiste en la identificación uno a uno de los equipos, con datos como características técnicas, consumo, modelos y patrones de uso. Si bien ya se obtuvieron las mediciones globales del laboratorio y aulas seleccionadas, se buscó realizar un levantamiento de información de las cargas instaladas actuales en el laboratorio de sistemas telemáticos, y el edificio de admisiones. Esta información también se descargó de la plataforma de monitoreo y se utilizaron durante la desagregación de cargas. Es relevante señalar que la totalidad de los datos expuestos en este capítulo proviene de mediciones efectuadas en los establecimientos, el análisis de parámetros técnicos de los equipos, registros energéticos y, de forma complementaria, testimonios recopilados de los colaboradores durante visitas al centro educativo.

**Tabla 2.2 Datos de equipos y potencia instalada en el laboratorio de sistemas telemáticos**

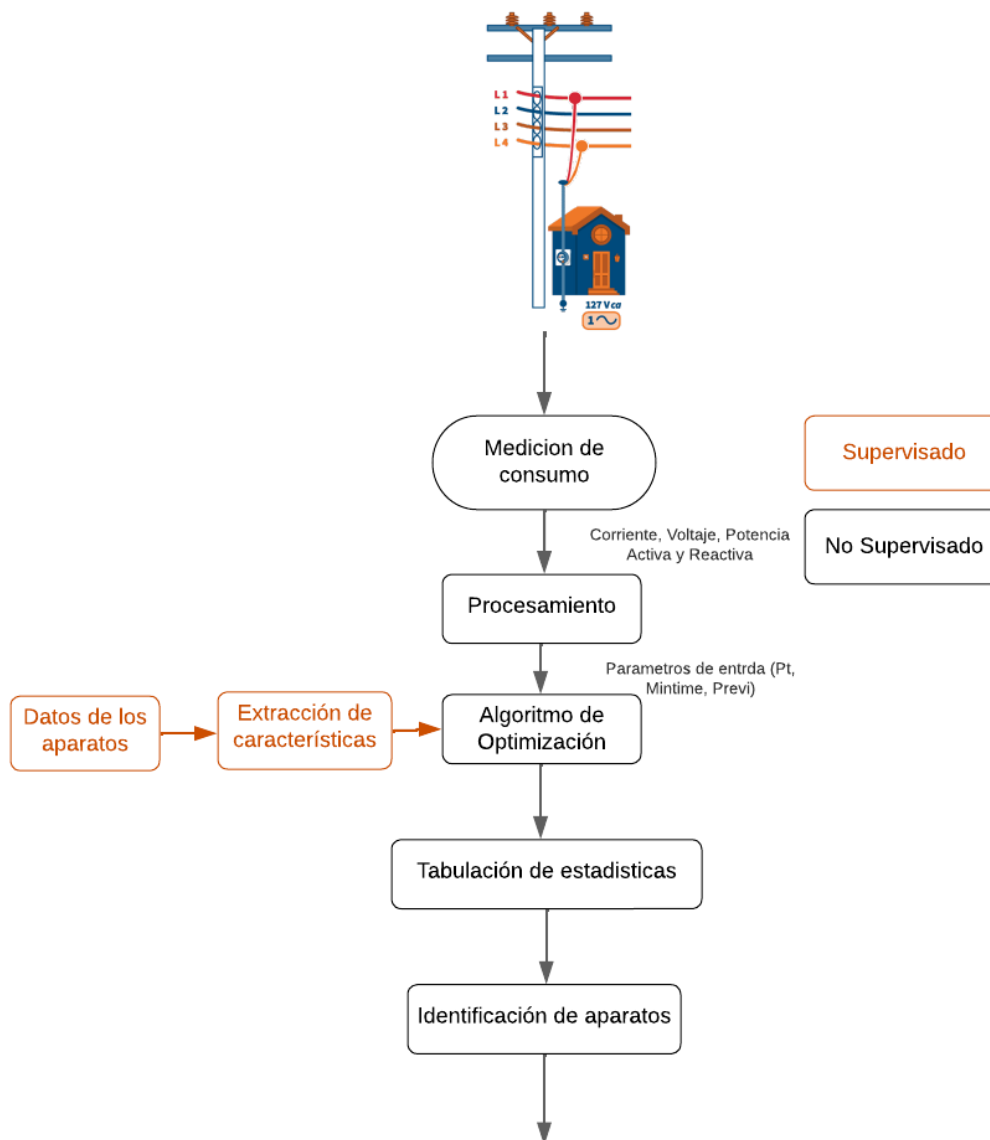
Nº PUNTOS	Servicios	Carga estimada (kW)
8	ILUM. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006	0.69
8	TC.110V. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X6 COMPUTADORAS * LUCES DE EMERGENCIA	0.72
4	ILUM. PASILLO EXTERIOR. + PROYECTOR	0.25
10	TC.110V. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X4 COMPUTADORAS * LETRERO DE SALIDA DE EMERGENCIA * APLIQUE DE PARED BAÑO	0.48
1	TC.110V. SOBREPUESTO EN LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X5 COMPUTADORAS	0.60
1	A.A. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006 (24 kBTU/H)	3.20
1	TC.110V. SOBREPUESTO EN LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X5 COMPUTADORAS	0.60
1	A.A. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006 (24 kBTU/H)	3.20
Carga total estimada kW		9.74

La tabla Tabla 2.2 presenta los agrupamientos de cargas en el laboratorio, note como se han agrupado cargas similares y que forman parte de un mismo circuito, las cuales asumimos ingresan todas en un solo evento, al tratarse de un laboratorio dígase por ejemplo se encienden todas las computadoras, o se enciendes todas las luces al mismo tiempo.

## 2.2 Desagregación de cargas usando NILM

En la sección 1.8 se explicó que NILM puede ser aplicada mediante dos enfoques de aprendizaje, supervisado y no supervisado, a su vez los algoritmos se pueden dividir en dos categorías; Reconocimiento de patrones y optimización combinatoria. Este trabajo es una aplicación práctica del NILM, llevándolo más allá del uso residencial, y adaptando métodos para que la desagregación funcione, debido a la naturaleza de los datos se ha implementado el modelo no supervisado de optimización combinatoria.





**Figura 2.4 Pasos para el enfoque de optimización de NILM supervisado y no supervisado**(Adaptado de Marcos Wittmann, 2017).

La Figura 2.4 presenta los pasos seguidos para el enfoque supervisado y no supervisado en optimización combinatoria, note la principal diferencia radica en la necesidad de conocer el consumo individual de los aparatos. Ahora esto realmente es lo más cercano a la realidad, pues note que la idea del NILM es justamente no tener medidores individuales en ningún momento, y únicamente trabajar a partir de la medición agregada, tal y como se ha desarrollado en este trabajo práctico de aplicación.

### 2.2.1 Estudio previo a la desagregación

Antes de iniciar con la desagregación se puede obtener información importante y relevante sobre los patrones de uso, consumo y comportamiento en general de la curva de consumo energético del laboratorio. En la Figura 3.2 se puede observar las curvas de potencia diaria para una semana típica. En este contexto nos permite analizar gráficamente como cambian los estados de consumo en el aula, evidentemente sin más información se puede intuir que equipos son los que están entrando y cómo se comporta la ocupación del espacio, relacionándolo con el horario de clases establecido y el horario laboral de las personas a cargo. Mas adelante en la sección de resultados se presenta un análisis detallado de los perfiles de consumo para una semana.

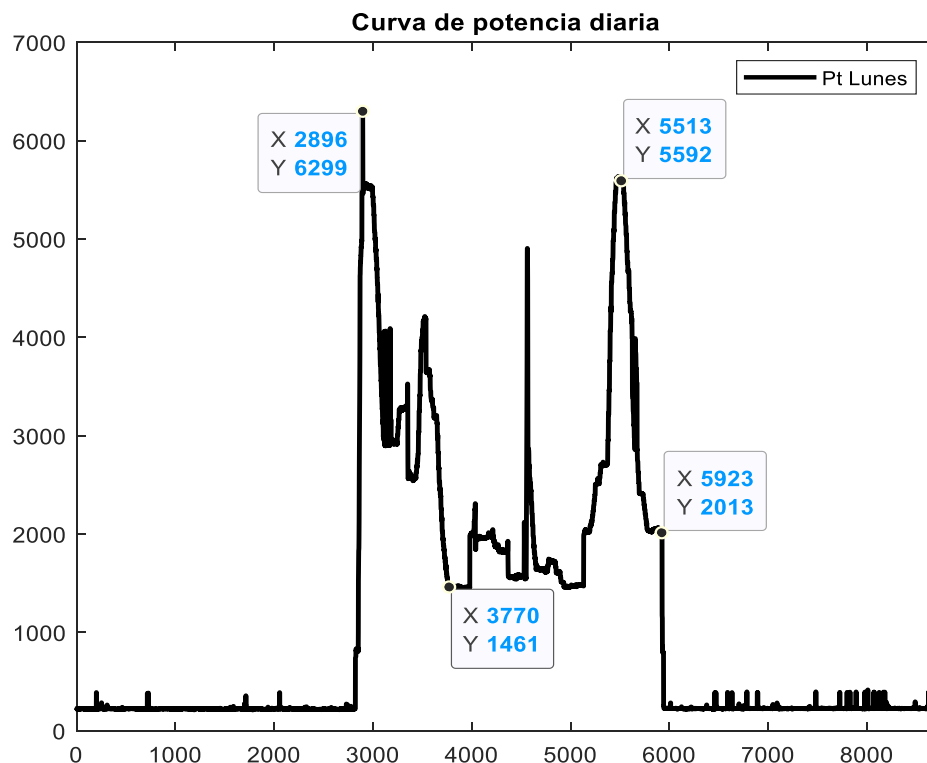


Figura 2.5 Perfil de consumo diario del laboratorio seleccionado para un día típico de trabajo.

## 2.2.2 Optimización Combinatoria (CO)

El problema de NILM puede ser formulado como un problema de optimización combinatoria, en este no se requiere la detección de eventos de cada dispositivo, en su defecto se asume que es posible que toda la curva de consumo puede ser separada en sus componentes individuales de consumo. Retomamos la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la solución a este planteamiento es la encontrar la mejor combinación de estados de potencia  $P_i$  para aproximar  $P(t)$ . Este trabajo utilizó el modelo de optimización mejorado de (Marcos Wittmann, 2017). El modelo matemático plantea se describe a continuación. Otra consideración importante es que no se considera la potencia reactiva para la identificación de los bloques de cargas eléctricas, esto debido a la disponibilidad de la información.

$$\min_{x_i(t)} \sum_{t \in T} \delta_p(t) \quad (2.1)$$

Sujeto a las siguientes restricciones

$$P(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t)P_i \leq \delta_p(t) \quad (2.2)$$

$$P(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t)P_i \geq -\delta_p(t) \quad (2.3)$$

En este  $\delta_p(t)$  representa el error en la estimación de potencia activa,  $x_i(t)$  es un variable booleana que se encarga de decidir el estado de la potencia  $P_i$ ,  $P(t)$  es potencia medida en el sitio.

En el contexto de la investigación sobre NILM, nos enfrentamos a desafíos significativos al aplicar métodos tradicionales, especialmente cuando solo se dispone de mediciones agregadas y carecemos de un ground\_truth (medición individual de aparatos) para el entrenamiento y evaluación de las técnicas. En situaciones como entornos de laboratorio, donde los dispositivos eléctricos no siguen patrones regulares, como es común en

entornos residenciales, por lo que la complejidad se intensifica. La presencia de múltiples acondicionadores de aire, diversas luminarias, computadoras y otros dispositivos introduce variabilidad y heterogeneidad, lo que dificulta la aplicación efectiva de las técnicas de NILM convencionales.

Ante estas dificultades, proponemos una metodología innovadora que se centra exclusivamente en la medición agregada para abordar la falta de un `ground_truth` confiable. Nuestra propuesta busca superar las limitaciones derivadas de la falta de datos detallados y la variabilidad en la carga eléctrica. Al hacerlo, aspiramos a ofrecer una solución sólida y eficiente para la aplicación de NILM en entornos donde la heterogeneidad de dispositivos es una característica distintiva. Este enfoque novedoso tiene el potencial de abrir nuevas posibilidades en la monitorización de cargas eléctricas, ofreciendo una alternativa prometedora en escenarios donde las metodologías tradicionales se ven obstaculizadas.

1. En primer lugar, se propone en análisis preliminar de los datos disponibles, en secciones anteriores ya se detalló este paso. Se grafican las series de tiempo para realizar una inspección visual del comportamiento de la data
2. Recolección de información sobre equipos instalados. En este trabajo se tiene el levantamiento eléctrico de las cargas instaladas en el laboratorio, presentada en la sección 2.1.3.
3. Se procesa la medición agregada con una técnica de clusterización para poder obtener los grupos y sus respectivos centroides o representantes. Estos grupos serán asignados un grupo de cargas determinado, mediante la comparación con la carga estimada. En este trabajo se ejecutó el método del codo y el índice de silueta para identificar el número óptimo de clústers, posteriormente se ejecutó el algoritmo de clusterización k-means.
4. Asignación y caracterización de cargas: Mediante comparación de los centroides y la carga estimada de cada servicio o grupo de aparatos presentados en la Tabla 2.2 se realiza una asignación 1 a 1 y utilizarlo como entrada al modelo.

5. Aplicación y solución del modelo NILM, del paso 4 ya se tiene las cargas categorizadas con sus respectivos representantes de potencia, ahora se toman las siguientes consideraciones
  - a. Se aplica el modelo de optimización combinatoria mejorado propuesto en (Marcos Wittmann, 2017), en este el modelo requiere tres parámetros principales, Main State que ya lo encontramos con los cluster, Minimun Time corresponde al tiempo mínimo que debe estar activo un estado de potencia para considerarse como una activación, esto es la ventana de tiempo mínima de ocurrencia por ejemplo de la Figura 2.5 se calcula la ventana de muestras y se multiplica por el tiempo de muestreo para obtener el tiempo mínimo de ocurrencia. Además, se necesita conocer la secuencia de ocurrencias de eventos, para este caso no se tiene restricción ya que cada elemento tiene un único estado de consumo que puede ingresar en cualquier instante de tiempo.
  - b. Finalmente, en este trabajo se considera que las cargas tienen un solo estado de consumo, es decir encendido o apagado, y no un estado de potencia medio como podría ocurrir con un equipo residencial.

### **2.3 Diseño del SGen**

En esta sección se describe la metodología seguida para el diseño del sistema de gestión de energía para el laboratorio de sistemas telemáticos, de ahora en adelante denominada "Organización". Se describe arduamente las actividades para la creación y operación del SGen. Se trabajó empleando la norma ISO 50001:2018 y adaptando la metodología presentada en el trabajo de (Prias et al., n.d.), a fin de explicar de mejor manera los procesos, algunos puntos del diseño no se presentan en el orden planteado por la norma, sino que obedecen a dar una explicación clara y detallada de la manera en que se implementa un SGen en la organización. También, se señala en que parte se interviene con los resultados obtenidos del NILM.

### **2.3.1 Contexto de la organización**

El primer paso crucial en la formulación del sistema implica llevar a cabo un análisis exhaustivo de la organización en el marco de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn). Este análisis busca comprender de manera detallada los factores internos y externos que pueden influir tanto en el rendimiento energético como en la eficacia general del sistema de gestión de energía. Dentro de la metodología, destacamos varios aspectos clave:

**Factores Internos:** Estos abarcan desde la cultura organizacional hasta la estructura y las operaciones internas de la entidad. La comprensión detallada de cómo la organización utiliza la energía en sus procesos y operaciones diarias resulta esencial para orientar las estrategias de gestión de energía.

**Factores Externos:** Esta categoría engloba regulaciones gubernamentales, condiciones del mercado, avances tecnológicos y otros elementos externos que potencialmente pueden afectar el rendimiento y las metas de eficiencia energética de la organización.

**Análisis del Contexto:** Implica realizar una evaluación profunda para identificar los elementos que podrían impactar la implementación del SGE. Este análisis es fundamental para planificar estratégicamente y alinear el sistema con los objetivos generales de la organización.

**Actores y Requisitos en el Desempeño Energético:** Partes Interesadas Internas y Externas: Pueden incluir empleados, directivos, accionistas, proveedores, clientes, reguladores y la comunidad local. Cada una de estas partes puede tener expectativas y requisitos específicos con respecto al desempeño energético de la organización.

**Requisitos Relacionados con el Desempeño Energético:** Estos son estándares, regulaciones y expectativas que las partes interesadas pueden tener con respecto al uso de la energía. Identificar estos requisitos es esencial para establecer metas de eficiencia energética y garantizar el cumplimiento de las expectativas.

### ***Alcance del SGE:***

La determinación del alcance del Sistema de Gestión de la Energía (SGE) es un paso crucial en la implementación de un sistema eficiente. Este proceso implica definir claramente los límites y la extensión del SGE dentro de la organización:

**Identificación de los Límites Organizacionales:** Se debe delimitar las áreas y procesos específicos de la organización que estarán cubiertos por el SGE. incluir instalaciones, líneas de producción, oficinas y otros puntos relevantes en los que se utiliza energía.

**Tipos de Energía Incluidos:** Especificar los tipos de energía que serán abordados por el sistema. Puede ser electricidad, gas, combustibles fósiles u otras formas de energía utilizadas en las operaciones de la organización.

**Consideración de Actividades y Operaciones Relevantes:** Definir las actividades y operaciones específicas que están directamente relacionadas con el consumo de energía. Considerando la producción, transporte, almacenamiento y cualquier otra actividad que tenga un impacto significativo en el uso de energía.

**Enfoque en Eficiencia Energética:** Establecer claramente el propósito del SGE en términos de mejora de la eficiencia energética. Definiendo metas y objetivos cuantificables que buscan reducir el consumo de energía y minimizar el impacto ambiental asociado.

**Cumplimiento Normativo:** Asegurarse de que el alcance del SGE cumpla con las normativas y estándares aplicables. Esto incluye requisitos gubernamentales, normas industriales y otros marcos regulatorios relacionados con la gestión de la energía.

### **2.3.2 Liderazgo del SGE**

Esta parte es fundamental para el éxito del SGE, el compromiso de la alta dirección en la implementación y operación del sistema es clave para el éxito de los objetivos y metas planteadas. Si no se consigue el compromiso de la alta dirección, se recomienda no intentar un SGE pues resulta en pérdida de tiempo y recursos valiosos para la organización.

Otro aspecto esencial del liderazgo en el SGE es el establecimiento de metas y objetivos claros en materia de eficiencia energética. Estos objetivos proporcionan una dirección clara y son fundamentales para evaluar el rendimiento del SGE a lo largo del tiempo. La comunicación transparente de estas metas y el progreso hacia su logro también son responsabilidades clave del liderazgo, asegurando así la alineación y el compromiso de toda la organización con los principios de gestión de la energía.

### **Política Energética.**

En este punto, la alta gerencia establece una declaración formal sobre los criterios y la filosofía que va a seguir para la planificación del SGE, los resultados de la sección anterior obtenidos mediante la desagregación de la carga establecen una línea por la cual debe ir la política energética planteada para este trabajo, contribuyendo al establecimiento de una cultura de uso sostenible de la energía.

En este trabajo la política energética fue presentada por el equipo de gestión energética y debe ser revisada y aprobada por la alta dirección. La norma da recomendaciones que se pueden seguir para la creación de políticas, algunas de ellas corresponden a preguntas clave que guían el planteamiento, además de la sugerencia de realizar un taller en el cual se realice una integración de las diferentes personas que componen el núcleo de la organización, en la sección de resultados puede observar la política planteada para el laboratorio de sistemas telemáticos.

### **Asignación de roles, responsabilidades y autoridades del SGE.**

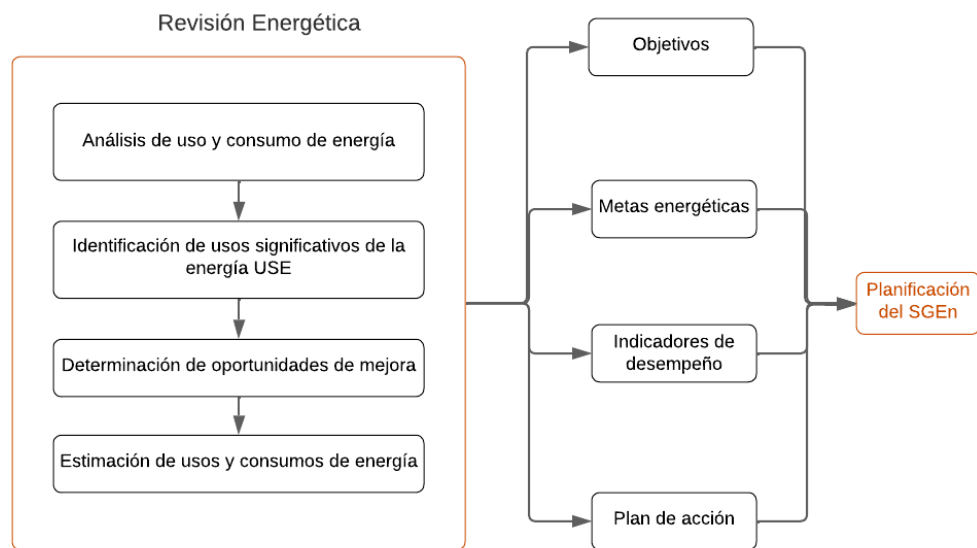
La alta dirección es responsable de asignar adecuadamente roles y autoridades para la implementación eficaz del Sistema de Gestión de la Energía (SGE). Esto incluye la designación de un gestor energético y un equipo con la capacidad de liderar tareas en diversas áreas relacionadas con el SGE. El gestor energético, respaldado por la alta dirección, actúa como enlace entre la dirección, el personal y entidades externas, desempeñando un papel crucial en la correcta implementación y operación del sistema.



El equipo de gestión de la energía agrupa áreas con responsabilidades clave frente al SGE y orienta decisiones hacia usos significativos de la energía. Su estructura varía según el tamaño de la organización, con funciones y responsabilidades claramente definidas para cada miembro. Puede incluir personal externo experto según sea necesario para agilizar el proceso de implementación.

### 2.3.3 Planificación del sistema de gestión de la energía

En esta etapa conocemos y entendemos el estado de la organización a nivel energético, todo se lo realice en base a la revisión energética que habilita encontrar las potenciales oportunidades de ahorro y mejora. La planificación del SGE se lo realiza siguiente los pasos mostrados en la Figura 2.6.



**Figura 2.6 Ruta a seguir para la planificación del SGE.**

Observe que dentro de lo que es la planificación, la revisión energética corresponde al bloque más grande del proceso.

#### Revisión Energética

La revisión energética es el proceso sistemático que tiene como objetivo analizar y evaluar el rendimiento energético de una organización. Esta evaluación exhaustiva implica la identificación de áreas de oportunidad y la búsqueda de mejoras en la eficiencia energética. La revisión se basa en el análisis detallado de datos relacionados con el consumo y uso de la

energía, así como en la revisión de contratos, facturas históricas, registros de producción y otros elementos relevantes. Además, puede involucrar recorridos de campo y entrevistas con personal clave, principalmente aquellos responsables de áreas con un consumo energético significativo. La revisión energética busca no solo optimizar el uso de la energía, sino también garantizar el cumplimiento de normativas y estándares relacionados con la eficiencia energética. En última instancia, este proceso proporciona información valiosa para la implementación de prácticas más sostenibles y la toma de decisiones estratégicas orientadas a la gestión eficiente de la energía.

Los siguientes puntos deben considerarse al momento de realizar la revisión energética, en el capítulo tres presentamos los resultados y un análisis de cada punto en específico:

- Matriz energética
- Diagrama energético productivo
- Análisis de consumo de energía
- Usos significativos de la energía (USE)
- Caracterización de los usos significativos de la energía (USE)
- Oportunidades de mejora en el desempeño energético
- Estimación de usos y consumos futuros de la energía
- Variables relevantes y factores estáticos
- Línea base energética e indicadores de desempeño energético
- Utilización de los indicadores de desempeño energético para medir cambios en el desempeño energético
- Objetivos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía.

#### **2.3.4 Apoyo del SGen**

Luego de realizada la planificación de sistema de gestión, se abordan la etapa de apoyo y soporte del SGen, los elementos de apoyo en un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) son aspectos y recursos que respaldan la implementación, operación y mejora continua del sistema. Estos elementos

proporcionan el contexto necesario para que el SGEN funcione eficientemente. Considerando que nos encontramos en la etapa “Hacer” del ciclo.

### **2.3.5 Operación del SGEN**

Esta etapa del diseño comprende las tareas que se realizan en la entidad para alcanzar las mejoras en el desempeño de la organización.

La operación del Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) se centra en la ejecución y supervisión continua de las actividades planificadas para mejorar la eficiencia energética de una organización. Durante este proceso, se realiza un seguimiento constante del desempeño energético mediante la recopilación de datos y la medición de indicadores clave. La identificación de desviaciones con respecto a los objetivos y metas establecidos conduce a la implementación de acciones correctivas y preventivas, buscando corregir problemas existentes y prevenir su recurrencia.

### **2.3.6 Evaluación de desempeño**

La evaluación del desempeño energético y del Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) es un proceso crucial para garantizar la efectividad y eficiencia en el uso de la energía dentro de una organización. Para ello, se lleva a cabo una medición y seguimiento continuo de indicadores clave relacionados con el consumo y la eficiencia energética. Estos datos recopilados son analizados de manera sistemática para evaluar el rendimiento energético, comparando los resultados con los objetivos previamente establecidos. La identificación de desviaciones y patrones proporciona una base para la implementación de acciones correctivas y preventivas, destinadas a mejorar la eficiencia y lograr los objetivos de ahorro energético.

La revisión por la alta dirección es una fase esencial en este proceso. A intervalos planificados, la dirección realiza evaluaciones formales del SGEN, examinando informes de desempeño, análisis de resultados y tomando decisiones estratégicas para la mejora del sistema. Se emplean indicadores específicos, como la intensidad energética y la eficiencia de

procesos, para evaluar el desempeño energético y garantizar un enfoque cuantitativo y cualitativo en la evaluación.

La retroalimentación y la mejora continua son inherentes a este proceso. La información obtenida de la evaluación se utiliza para retroalimentar el sistema, revisar lecciones aprendidas y adoptar buenas prácticas. Además, se realizan auditorías internas y externas para asegurar la conformidad con los requisitos del SGEEn y, en el caso de auditorías externas, verificar la conformidad con normas específicas como la ISO 50001. En conjunto, la evaluación del desempeño energético y del SGEEn no solo permite cumplir con los objetivos de eficiencia energética, sino también facilita la mejora continua en la gestión de la energía de la organización.

### **2.3.7 Mejora continua del SGEEn**

La etapa de mejora continua en el Sistema de Gestión de la Energía (SGEEn) constituye un proceso dinámico y esencial para optimizar constantemente el rendimiento energético de una organización. Esta fase se basa en la retroalimentación obtenida durante la evaluación del desempeño energético y se traduce en acciones concretas para perfeccionar el sistema. Uno de los pilares de la mejora continua es la identificación de oportunidades de optimización a partir de los resultados del análisis de datos y del cumplimiento de los objetivos energéticos. Las acciones correctivas y preventivas se implementan de manera proactiva para corregir desviaciones identificadas y evitar la repetición de problemas, contribuyendo a una gestión más eficiente de la energía. La revisión por la alta dirección desempeña un papel crucial en esta etapa, ya que implica decisiones estratégicas para ajustar el enfoque del SGEEn. Se pueden introducir cambios en los procesos, procedimientos o asignación de recursos en respuesta a las lecciones aprendidas y a las mejores prácticas identificadas durante la evaluación. La retroalimentación constante también alimenta la formación continua del personal, asegurando que estén equipados con las competencias necesarias para abordar nuevas metas y desafíos energéticos. Además, la mejora continua fomenta la innovación en la gestión de la energía. Se busca la implementación de tecnologías más

eficientes, la exploración de fuentes de energía renovable y la adopción de prácticas sostenibles. En resumen, la etapa de mejora continua no solo se centra en la corrección de errores, sino que también impulsa la innovación y la adaptación constante para alcanzar niveles superiores de eficiencia energética y sostenibilidad dentro de la organización.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

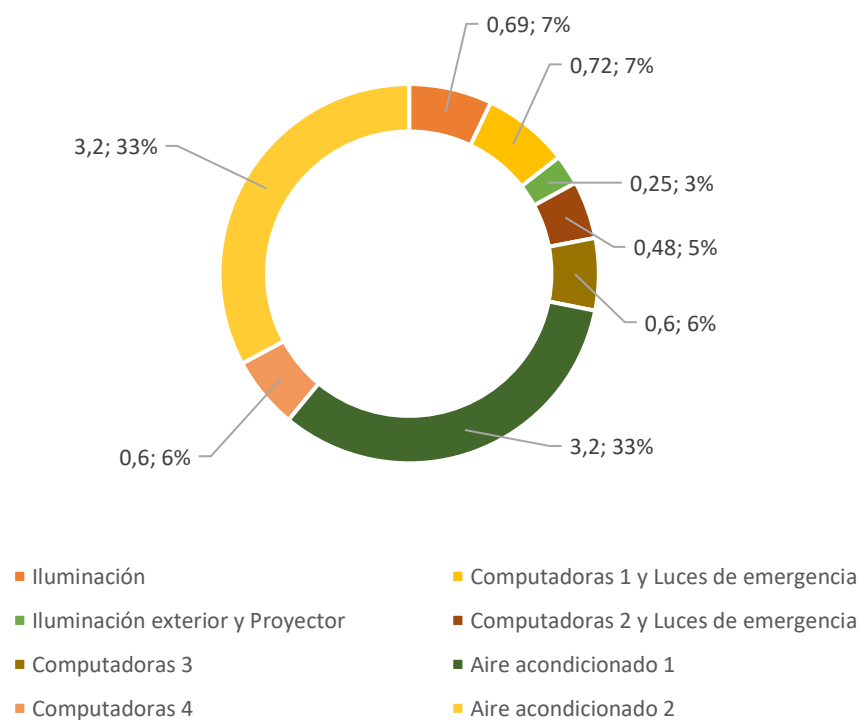
En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la ejecución de la metodología propuesta, desde el análisis preliminar de las mediciones agregadas del consumo energético, pasando por la aplicación de técnicas de Machine Learning para la identificación de la potencia representativa o estados de potencia en el conjunto de datos. Así también los resultados de la desagregación y posteriormente la generación de políticas en base a los resultados NILM para el SGE en propuesto.

### 3.1 Resultados del levantamiento de información del laboratorio.

Ahora, con los datos disponibles del levantamiento de información, se ha asignado una etiqueta o nombre a cada carga identificada. En la Tabla 3.1 tenemos diferentes bloques de carga, cada uno entra a funcionar como una en específico, se obtienen cuatro bloques que integran computadoras, dos bloques con iluminación y dos con áreas acondicionadas.

**Tabla 3.1 Etiquetas a los circuitos de consumo del laboratorio.**

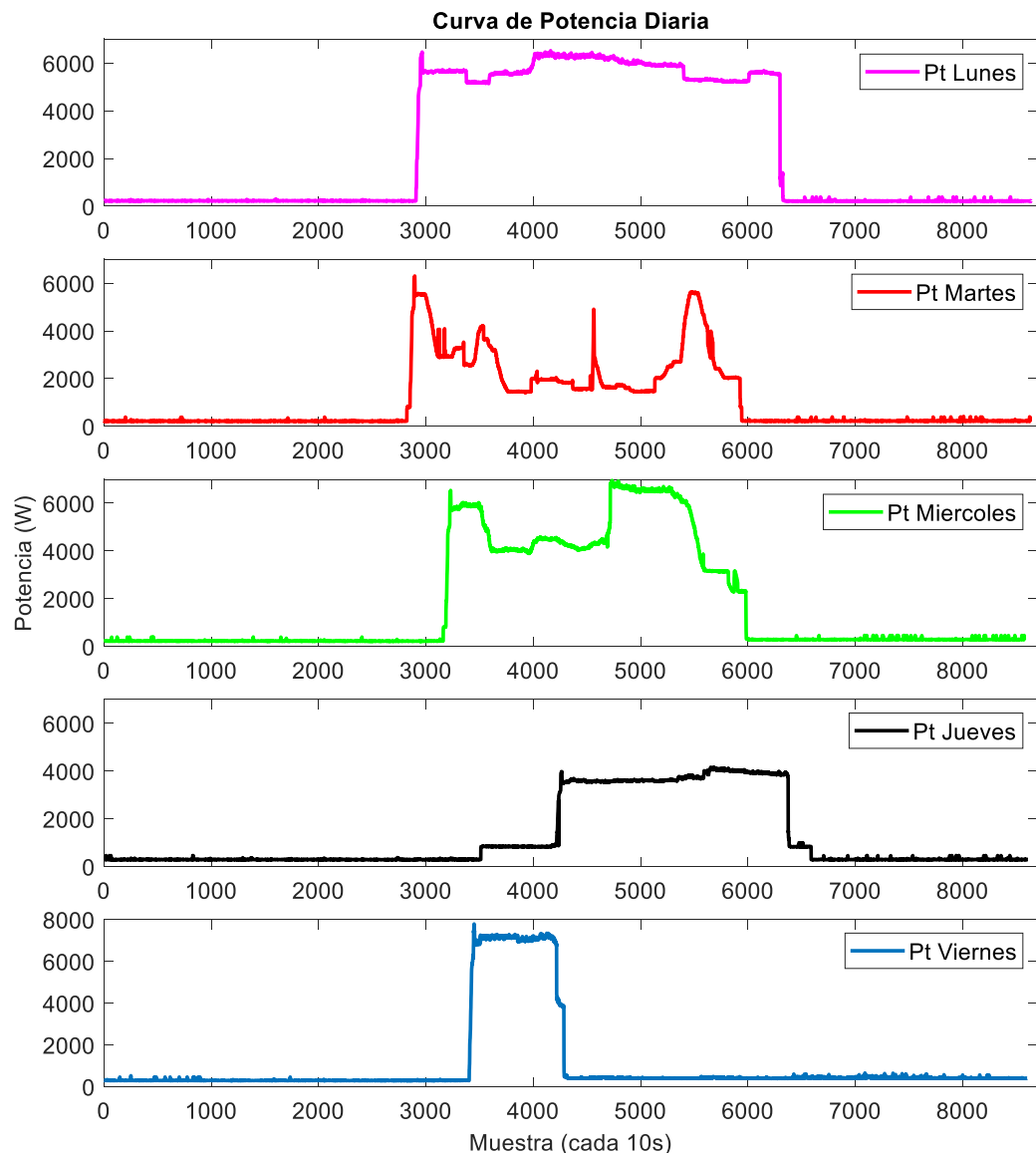
Carga	Servicios	Carga estimada (kW)
Iluminación	ILUM. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006	0.69
Computadoras 1 y Luces de emergencia	TC.110V. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X6 COMPUTADORAS * LUCES DE EMERGENCIA	0.72
Iluminación exterior y Proyector	ILUM. PASILLO EXTERIOR. + PROYECTOR	0.25
Computadoras 2 y Luces de emergencia	TC.110V. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X4 COMPUTADORAS * LETRERO DE SALIDA DE EMERGENCIA * APLIQUE DE PARED BAÑO	0.48
Computadoras 3	TC.110V. SOBREPUESTO EN LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X5 COMPUTADORAS	0.60
Aire acondicionado 1	A.A. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006 (24 kBTU/H)	3.20
Computadoras 4	TC.110V. SOBREPUESTO EN LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006. * X5 COMPUTADORAS	0.60
Aire acondicionado 2	A.A. LABORATORIO DE SISTEMAS TELEMATICOS LAB006 (24 kBTU/H)	3.20
Carga total estimada kW		9.74



**Figura 3.1 Distribución de consumo de los diferentes equipos encontrados en el laboratorio.**

Ahora, en lo que respecta al consumo de cada carga, en la Figura 3.1 se tiene cuáles son los usos significativos de la energía eléctrica en kW y porcentaje, quizás un resultado esperado es que el Aire acondicionado 1 y 2 son las cargas de mayor consumo en la organización, con el 33% cada uno y llegando a representar el 66% del consumo total. Las cargas que siguen con el consumo son las computadoras 1,2,3 y 4. Se debe considerar que dentro de computadoras 1 y 2 se tienen involucrado luces de emergencia. Finalmente, los circuitos de iluminación son los que representan el menor consumo, aunque en menor medida no se debe despreciar este registro pues el consumo está asociada al tiempo encendido, por lo que según el tiempo que las tenga en funcionamiento pueden llegar a representar una gran parte del gasto energético.

### 3.1.1 Perfiles, Histórico, y focos de consumo.



**Figura 3.2** Curvas de potencia diaria de una semana típica de consumo del laboratorio.

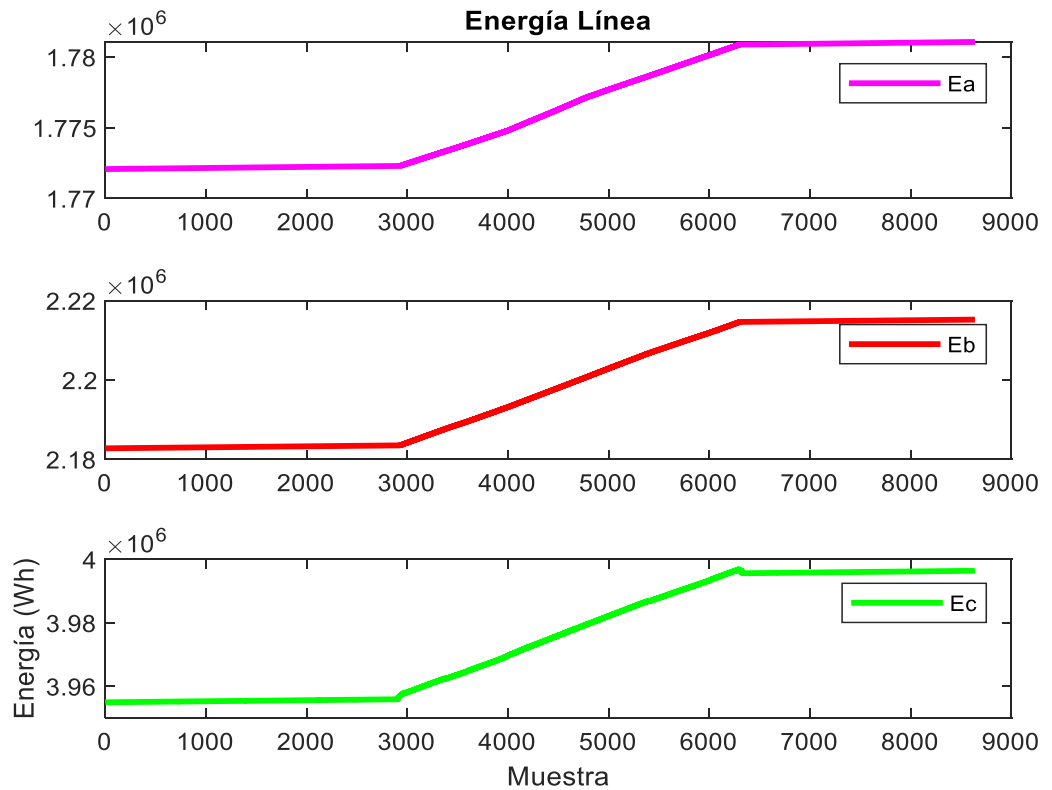
El espacio bajo estudio se trata de un laboratorio sistemas telemáticos universitario, al obtener los perfiles de consumo se espera poder abarcar todos los cambios de estado de potencia durante las horas de ocupación, en la Figura 3.2 se ha graficados los registros diarios del consumo, la selección se basó en tomar una semana típica de clases durante la cual el comportamiento de los usuarios sea lo más normal posible, esta gráfica



corresponde a la primera semana laborable del mes de noviembre. Para la curva del lunes, alrededor de la muestra 3000 corresponde al inicio de la jornada laboral, 8h00, note como el consumo se mantiene en cierta medida constante, con ligeras variaciones a lo largo del día, incluso conociendo ya las cargas de antemano, no es posible saber cuáles son las que están provocando ese consumo, cuales de ellas son las que están causando los cambios de estado, ni mucho menos con que potencia entran a funcionar. Por otro lado, el martes tiene aproximadamente la misma ventana de trabajo, pero aquí se observa de mejor medida los cambios de estado en el laboratorio, esta curva un es buen candidato al modelo NILM, si conocemos los estados principales de consumo, el patrón general de uso, con esto es posible obtener una buena desagregación de la información. El martes y jueves también presentan variabilidad interesante, finalmente el viernes, se tiene el menor horario de ocupación, esto está ligado claramente al horario de clases programado en el laboratorio.

### **3.1.2 Análisis de tendencias de consumo y línea base energética.**

A continuación, se presenta también el comportamiento del consumo en el laboratorio para cada línea de alimentación. Se observa que este es constantemente creciente a lo largo del día, es decir, no hay momentos en los que deje de contribuir al registro de consumo de energía. La curva A presenta ligeras variaciones, explicadas por los cambios en los estados de potencia que experimenta a lo largo del día. Estas curvas subrayan la necesidad de analizar lo que está sucediendo dentro de la organización. Si consideramos que los laboratorios no tienen una ocupación constante a lo largo del día, el consumo debería reflejar ese comportamiento. Sin embargo, se ha observado que el consumo de energía se mantiene constante, del calculo se obtuvo que el consumo diario promedio se encuentra alrededor de 171 kWh en horarios laborables.



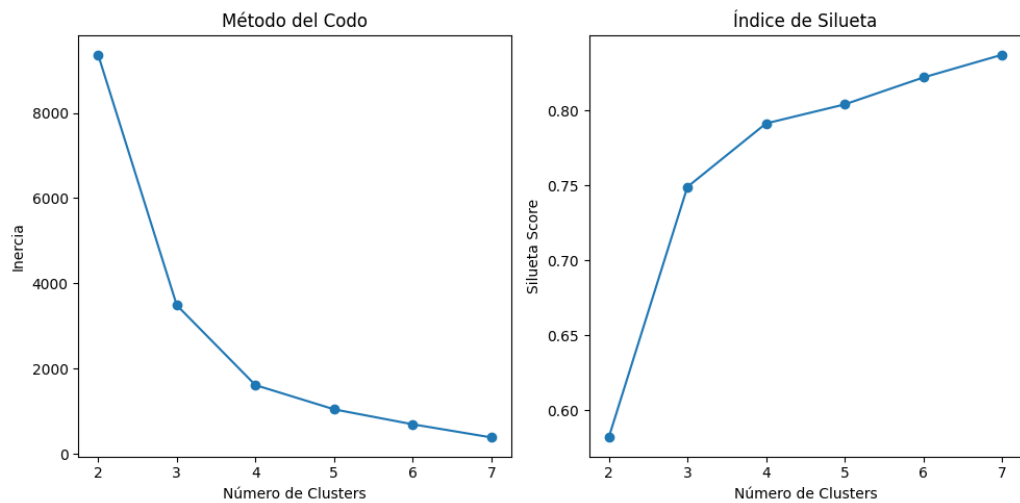
**Figura 3.3 Perfil de consumo de energía por fase.**

En los períodos no laborables, el consumo o aumento en el registro de energía se acerca a cero. Al examinar la figura, se evidencia que la energía disponible no se está utilizando de manera eficiente. Para comprender lo que está mal, consideremos que el patrón de ocupación del laboratorio se asemeja al de un aula de clases, donde los alumnos u ocupantes tienen horarios específicos de entrada y salida, generalmente programadas en sesiones de clases de 2 horas. Fuera de este horario, el consumo de energía o la tasa de cambio del consumo debería disminuir, lo cual no se está cumpliendo en esta organización, con esto se identifica la existencia de fugas de consumo.

### 3.2 Resultados de la desagregación de cargas utilizando aprendizaje no supervisado

Luego del análisis preliminar, se ejecutó la metodología propuesta para la desagregación, con resultados importantes que permiten la identificación de los focos de consumo.

### 3.2.1 Identificación de los estados de potencia con la técnica de machine learning k-means.



**Figura 3.4 Resultados del Método del codo y el índice de silueta para los datos de potencia.**

La Figura 3.4 señala que el número óptimo de grupos para la muestra proporcionada se sitúa entre 3 y 7. Utilizando el índice de silueta, podemos determinar qué valor de "k" se ajusta mejor a la información. Es importante destacar que a partir de 3, el ajuste es superior a 0.75, y alcanza su punto máximo en 7, con un valor de 0.86. Cabe mencionar que previamente se tenían identificados 8 bloques de cargas en el laboratorio. Este resultado sugiere la existencia de dos cargas con comportamientos similares que podrían agruparse en uno solo. Para llegar a una conclusión más sólida, se procedió a la ejecución del algoritmo k-means..

Asi mismo, en la Figura 3.5 se presenta la nube de puntos correspondiente a los datos de potencia. Cada uno de estos grupos cuenta con un representante o centroide, detallado en la Tabla 3.1, A cada centroide se le asignó su respectiva carga eléctrica en función de su consumo.

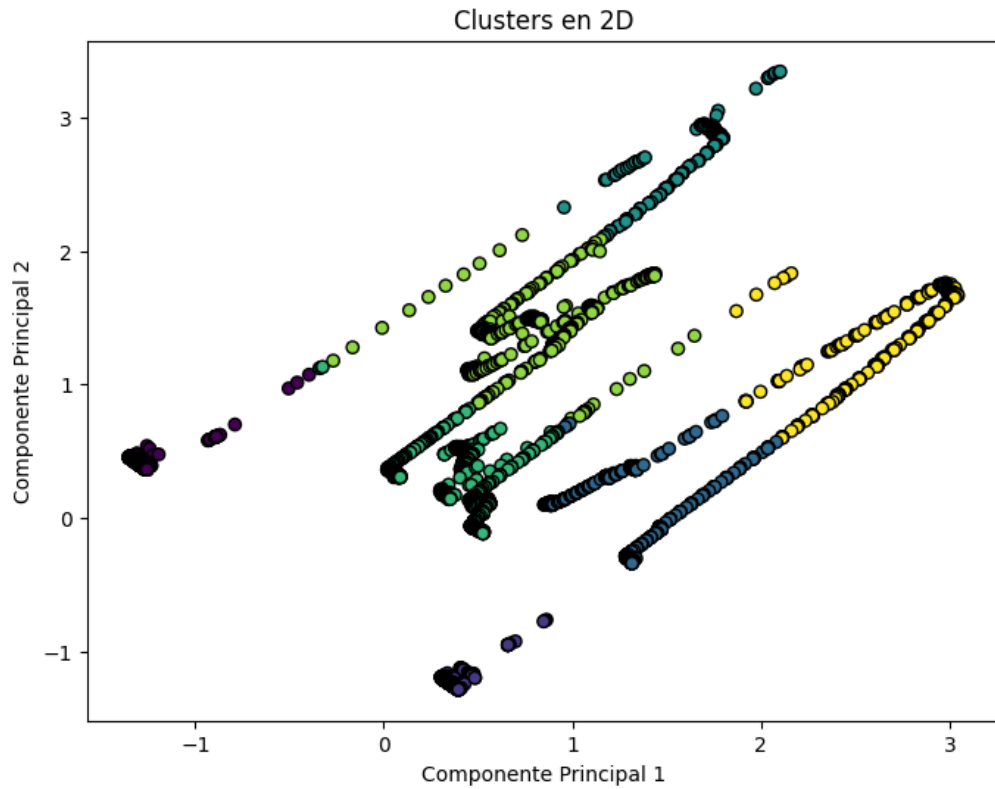


Figura 3.5 Gráfico de dispersión de la potencia y energía diaria en k-means.

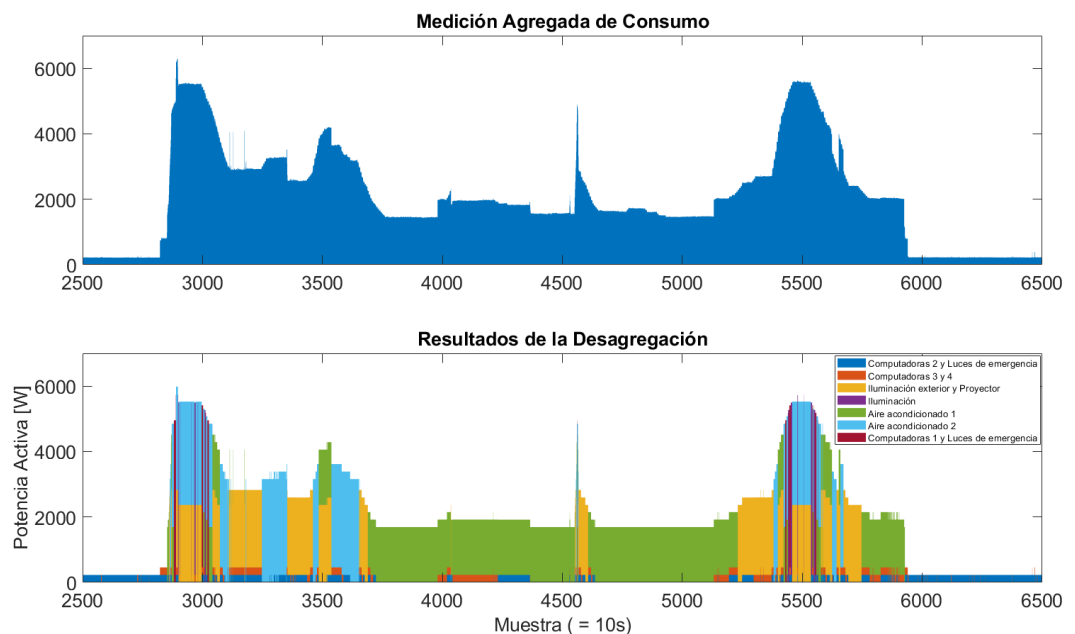
### 3.2.2 Cargas representativas de las aulas, laboratorios, edificios

Tabla 3.2 Identificación y asignación de cargas a cada centroide del grupo

i	Dispositivo (Carga)	Pi asignada del clúster Ci	Ei asignada del clúster Ci (x10e6)	desviación estándar	MDi
1	Computadoras 2 y Luces de emergencia	228	3.996881e+06	75.39872	2907
2	Computadoras 3 y 4	230	4.013026e+06	52.071788	72
3	Iluminación exterior y Proyector	2367	4.011275e+06	380.672958	370
4	Aire acondicionado 1	5268	3.999775e+06	440.887736	96
5	Iluminación	1691	4.005864e+06	231.526369	204
6	Computadoras 1 y Luces de emergencia	3158	4.002205e+06	453.521339	110
7	Aire acondicionado 2	4954	4.011587e+06	604.482305	53

Los resultados obtenidos mediante el algoritmo k-means logran identificar los valores primordiales de potencia que definen cada una de las cargas previamente reconocidas. La Tabla 3.2 proporciona información detallada sobre las cargas críticas en el laboratorio. Es notable cómo, una vez más, el aire acondicionado encabeza la lista con un consumo de 5268 y 4965 para los Aire Acondicionado 1 y 2, respectivamente. Cada carga presenta su respectiva desviación estándar, lo que facilita la creación de una ventana de activación para posibles estados intermedios, y con esto establecer un plan de trabajo específico en SGen. En el próximo punto, se ofrece una desagregación detallada de la curva de carga.

### 3.2.3 Identificación de focos de fugas de consumo y cargas críticas.



**Figura 3.6 Resultados de la desagregación de cargas utilizando el modelo de optimización combinatoria.**

Finalmente, tras llevar a cabo todos los procedimientos mencionados anteriormente, se logró realizar la desagregación de las cargas en la medición. Al analizar la Figura 3.6 podemos empezar a concluir sobre los focos y cargas críticas. Primero note como el aire acondicionado se mantiene encendido casi en todo momento, a pesar de que computadores u otros equipos se mantienen apagados, este hallazgo sugiere que hay oportunidades para mejorar la eficiencia energética al revisar y ajustar los

parámetros de control del sistema de aire acondicionado, así como educar a los usuarios sobre un uso más consciente. Los picos de consumo ocurren cuando se combinan iluminación, aire acondicionado, computadoras en un mismo instante de tiempo llegando a alcanzar los 6000 W de consumo pico, este fenómeno indica la necesidad de coordinar mejor el uso de estos dispositivos para evitar consumos extremos y optimizar la gestión de la carga eléctrica. Además, se observa un consumo constante por parte de las computadoras 2, probablemente debido a que siempre permanecen energizadas en modo standby.

### **3.3 Propuesta de diseño del SGE en base a resultados NILM.**

Los hallazgos de la desagregación permiten recomendar la implementación de políticas que apaguen o pongan en modo de bajo consumo aquellos dispositivos que no están en uso, con el objetivo de reducir este consumo constante. Esta integración de los resultados del NILM con la creación de políticas del Sistema de Gestión de la Energía (SGE) ofrece una perspectiva valiosa para la toma de decisiones orientadas a la eficiencia energética en el laboratorio, es así como en esta sección se presenta una propuesta de SGE, donde se establecieron estrategias de eficiencia energética basadas en visualización, monitoreo y recomendaciones personalizadas.

#### **3.3.1 Compromisos de la Alta Dirección**

En FIEC-ESPOL, reconocemos la importancia de la eficiencia energética y el papel fundamental que desempeñamos en la preservación del medio ambiente. nos comprometemos a implementar un Sistema de Gestión de Energía (SGE) basado en los resultados obtenidos mediante la aplicación de la Monitorización No Intrusiva de Cargas (NILM). Reconocemos la necesidad de abordar específicamente los problemas identificados en los resultados de NILM y nos comprometemos a mejorar la eficiencia energética en nuestro laboratorio. A continuación, se presentan los principios rectores específicos en respuesta a los hallazgos: ***Gestión Eficiente de aires acondicionados:*** Estableceremos horarios

específicos para la operación de los aires acondicionados, ajustando su funcionamiento en función de los horarios de clases y actividades programadas. Implementaremos sistemas de control automático para optimizar la temperatura y evitar el funcionamiento continuo cuando no sea necesario

***Gestión de Computadoras y Luminarias:*** Implementaremos políticas de apagado automático para las computadoras durante períodos de inactividad, reduciendo el consumo asociado al modo de espera (standby). Fomentaremos la conciencia entre los usuarios para apagar las computadoras y luces al finalizar las actividades, contribuyendo así a la reducción del consumo energético.

Esta política refleja nuestro compromiso con la mejora continua y específicamente aborda los resultados de la aplicación de NILM para la identificación de oportunidades de mejora. La participación de todos los miembros del laboratorio es esencial para el éxito de estas iniciativas. Se designa al jefe de laboratorio como representante de la dirección y responsable del SGEEn.

### **3.3.2 Planificación energética**

Ya se presentaron y evaluaron los aspectos energéticos significativos del laboratorio en las secciones 3.2.2 y 3.2.3, con esto se establece los siguientes objetivos y metas energéticas que son medibles y alcanzables. El planteamiento de los objetivos y metas está fundamentado en el análisis ocupacional del laboratorio, a partir de sus perfiles propios y consumo energético diario. La Tabla 3.3 establece las metas específicas según identificación de consumo desagregado en las secciones anteriores, además se debe aclarar que se han fijado las cargas encontradas por k-means como los usos significativos de la energía.

#### ***Objetivo General***

Reducir el consumo diario total de energía en el laboratorio universitario en un 15% en los próximos 12 meses.

**Tabla 3.3 Metas específicas e Indicadores para la propuesta de SGE**

<b>Metas específicas</b>	<b>Indicadores</b>
Reducir el consumo de energía asociado a computadoras y luminarias en un 15%	Registro mensual del consumo de energía de computadoras y luminarias, con énfasis en la disminución del consumo en modo de espera y el apagado efectivo al final del día
Lograr una reducción del 10% en el consumo de energía mediante la concientización y participación del personal	Encuestas semestrales para evaluar el conocimiento y comportamiento del personal en relación con las prácticas eficientes de energía.
Realizar una evaluación mensual mediante NILM para identificar y corregir posibles ineficiencias	Análisis mensual de los resultados de NILM con acciones correctivas implementadas en función de los hallazgos
Integrar al menos una tecnología eficiente adicional en el laboratorio	Implementación exitosa de una nueva tecnología (por ejemplo, sensores de presencia, gestión inteligente de energía) y comparación del consumo antes y después de su implementación
Compartir experiencias y mejores prácticas con al menos dos instituciones académicas	Participación en eventos académicos, seminarios web u otras formas de intercambio de conocimientos

Cada una de las metas propuestas son medibles y alcanzables, en el horizonte planteado.

### 3.3.3 Implementación y operación

**Tabla 3.4 Implementación y Operación del SGE**

<b>Equipos de Trabajo</b>	<b>Responsabilidades</b>
Equipo de Implementación del SGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar el plan de implementación del SGE.</li> <li>• Coordinar la formación del personal en eficiencia energética.</li> <li>• Supervisar la instalación de tecnologías eficientes. - Garantizar la asignación de recursos necesarios.</li> </ul>
Equipo de Mantenimiento y Monitoreo del SGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar revisiones periódicas del funcionamiento del SGE.</li> <li>• Monitorear y registrar los datos provenientes de NILM.</li> <li>• Coordinar el mantenimiento preventivo de equipos y sistemas.</li> <li>• Informar al Equipo de Implementación sobre posibles mejoras.</li> </ul>



**Tabla 3.5 Procedimientos de control y monitoreo NILM**

<b>Procedimientos de Control y Monitoreo</b>	<b>Responsable</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Acciones</b>
Procedimiento de Monitoreo con NILM	Equipo de Mantenimiento y Monitoreo del SGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo diario para identificar patrones de consumo anómalos.</li> <li>• Análisis mensual para evaluar la eficacia de las acciones tomadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar equipos con alto consumo a través de NILM. Registrar y analizar patrones de uso para detectar ineficiencias.</li> <li>• Informar al Equipo de Implementación para implementar mejoras.</li> </ul>

**Tabla 3.6 Contenido de control Operativo**

<b>Controles Operativos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Procedimiento</b>
Horarios de Aires Acondicionados	Docentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer horarios específicos para el funcionamiento de los aires acondicionados en función de las clases y actividades programadas.</li> <li>• Apagar aires acondicionados al finalizar las actividades.</li> </ul>
Apagado de Computadoras y Luminarias	Ayudantes de Laboratorio y Estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar políticas de apagado automático para computadoras durante períodos de inactividad.</li> <li>• Recordar a los usuarios apagar luces y equipos al finalizar el día.</li> </ul>
Sensibilización Continua	Equipo de Implementación del SGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar sesiones de sensibilización periódicas.</li> <li>• Distribuir material educativo sobre eficiencia energética.</li> <li>• Reconocer y premiar prácticas eficientes.</li> </ul>

Finalmente, ahora se presenta Tabla 3.7 en esta se muestra información relevante sobre el monitoreo, medición, evaluación de cumplimiento legales y la mejora continua.

**Tabla 3.7 Mejora Continua SGEEn.**

Monitoreo y Medición			
Acciones	Responsable	Frecuencia	Herramientas/Tecnologías
Implementar sistema de medición y monitoreo	Equipo de Implementación del SGEEn	Continua	Monitoreo No Intrusivo de Cargas (NILM), Dispositivos de Medición
Establecer Indicadores Clave de Rendimiento (KPI)	Equipo de Implementación del SGEEn	Mensual	Informes de Consumo, KPIs definidos
Realizar auditorías energéticas periódicas	Equipo de Mantenimiento y Monitoreo del SGEEn	Semestral	Auditorías Energéticas
Evaluación del Cumplimiento Legal y Otros Requisitos			
Acciones	Acciones	Acciones	Acciones
Realizar revisiones regulares	Equipo de Implementación del SGEEn	Trimestral	Checklist de Cumplimiento
Mantener un registro actualizado de legislación	Encargado de Cumplimiento Legal	Continua	Base de Datos de Legislación
Revisión por la Dirección			
Acciones	Responsable	Frecuencia	Herramientas/Tecnologías
Realizar revisiones periódicas del SGEEn	Alta Dirección y Equipo de Implementación del SGEEn	Semestral	Informes de Desempeño del SGEEn
Identificar oportunidades de mejora	Alta Dirección y Equipo de Implementación del SGEEn	Trimestral	Análisis de Resultados y Retroalimentación
Mejora Continua			
Acciones	Responsable	Frecuencia	Herramientas/Tecnologías
Fomentar la participación del personal	Equipo de Implementación del SGEEn	Continua	Encuestas de Participación
Implementar acciones correctivas y preventivas	Equipo de Implementación del SGEEn	Según sea necesario	Plan de Acciones Correctivas/Preventivas

### **3.4 Trabajo Futuro**

En cuanto a futuras líneas de trabajo, se plantea la mejora del modelo utilizado para NILM, considerando la inclusión de la potencia reactiva y la evaluación de resultados mediante métricas más robustas. Este enfoque permitirá una desagregación más precisa y completa de las cargas, brindando una visión más detallada de los patrones de consumo energético en el laboratorio. Además, se propone la integración de una inteligencia artificial que pueda aprovechar los resultados obtenidos mediante NILM para generar políticas de eficiencia energética de manera automatizada. Esta inteligencia artificial podría también contribuir a la implementación de SGEN más dinámicos y adaptativos, optimizando continuamente el uso de recursos eléctricos. Por último, se sugiere llevar a cabo la caracterización de los grupos de cargas asumiendo que pueden tener varios estados de operación. Explorar y comprender estos distintos estados permitiría una gestión más eficiente y personalizada de cada carga, adaptándose a sus necesidades específicas y contribuyendo así a una mayor eficiencia energética en el laboratorio. Estas áreas de investigación prometen avanzar significativamente en la optimización y sostenibilidad del consumo eléctrico en entornos laboratoriales

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones en base a los hallazgos más relevantes que han encontrado durante el desarrollo de este trabajo. Así también, se agregan recomendaciones importantes para futuros trabajos e implementación misma del SGEEn propuesto.

### **Conclusiones**

Fue posible la construcción de una línea base energética a través de un relevamiento detallado del consumo actual en el laboratorio, y utilizando la desagregación de las cargas individuales para identificar su comportamiento, el procedimiento puede ser empleado para obtener una línea base en entornos con limitaciones de acceso, sea este por razones o por mismas razones de confidencialidad, como ejemplo, una empresa u organización que maneje información sensible y desee implementar un SGEEn. Esto permite comprender el punto de partida y evaluar el impacto de las futuras estrategias de eficiencia energética.

La implementación de técnicas NILM en entornos prácticos reales, donde la disponibilidad de datos abarca una variedad limitada, que no incluyen medidas desagregadas de dispositivos individuales, puede dar lugar a diversas complicaciones durante su ejecución. Estas dificultades pueden ser abordadas eficazmente mediante la aplicación de técnicas y herramientas computacionales modernas, particularmente algoritmos de aprendizaje automático, que facilitan la identificación de estados de consumo energético en una organización. A través de esta aplicación, se logra una desagregación de datos que se ajusta de manera adecuada a las características del entorno, superando así las limitaciones inherentes a la disponibilidad de información desagregada.

Aprovechando tecnologías avanzadas, como la integración de medidores inteligentes, plataforma de monitoreo y la técnica NILM, para recopilar datos detallados sobre el consumo energético, se logró analizar detalladamente los patrones de consumo de energía considerando las actividades académicas y

disponibilidad de los espacios. La combinación de estas tecnologías proporciona información valiosa para la toma de decisiones que permitan establecer estrategias de eficiencia energética basadas en visualización, monitoreo, control y recomendaciones específicas para cada laboratorio o aula de un campus universitario.

La propuesta de diseñar el SGEEn considerando el ciclo Deming (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y la norma ISO 50001 demuestra un enfoque estructurado y sistemático para la gestión de la energía. Esto garantiza un proceso continuo de mejora y alineación con estándares internacionales. La incorporación del NILM en el SGEEn ha emergido como una estrategia esencial para optimizar el consumo energético. La capacidad de NILM para desagregar cargas y analizar patrones de consumo ha proporcionado una visión detallada, permitiendo la identificación precisa de cargas críticas y la formulación de políticas energéticas más específicas. Este enfoque no solo alinea eficazmente con los principios del ciclo Deming y la norma ISO 50001, sino que también brinda flexibilidad para adaptarse a cambios en el entorno operativo, asegurando una gestión continua y efectiva de la energía

### **Recomendaciones**

Involucrar activamente a los usuarios finales, como profesores, ayudantes y estudiantes, en el diseño e implementación del SGEEn. La concientización y participación son clave para el éxito a largo plazo.

Definir metas específicas y medibles para la reducción del consumo energético, basadas en los resultados de la línea base y análisis de patrones. Establecer indicadores clave de rendimiento para evaluar el progreso. Así también, establecer canales de comunicación transparente para compartir los resultados del SGEEn con la comunidad universitaria. La transparencia fomentará el compromiso y la participación continua.

Implementar un proceso de evaluación periódica de los resultados del SGEEn y recopilar retroalimentación de los usuarios. Esto permitirá ajustar estrategias según sea necesario y asegurar la mejora continua

# BIBLIOGRAFÍA

- Brundiers, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., Dripps, W., Habron, G., Harré, N., Jarchow, M., Losch, K., Michel, J., Mochizuki, Y., Rieckmann, M., Parnell, R., Walker, P., & Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education—toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, 16(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Donato, P. G., Hernández, Á., Funes, M., Carugati, I., Nieto, R., & Ureña, J. (2022). *Review of non-intrusive load monitoring techniques applications in smart grids*. *Energía sostenible: optimizando la eficiencia energética*. (n.d.). Retrieved December 2, 2023, from <https://www.cic.es/energia-sostenible-optimizando-la-eficiencia-energetica/>
- Energía y cambio climático | Sostenibilidad ESPOL*. (n.d.). Retrieved December 2, 2023, from <https://sostenibilidad.espol.edu.ec/energia-y-cambio-climatico>
- ESPOL se suma al programa Ecuador carbono cero (PECC)*. (n.d.). Retrieved December 2, 2023, from <https://cemdes.org/blog/cluster-de-cambio-climatico-de-cemdes/>
- IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 29. 2016 Vancouver British Columbia, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institute of Electrical and Electronics Engineers Canada, Annual IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 29 2016.05.14-18 Vancouver, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 29 2016.05.14-18 Vancouver, CCECE 29 2016.05.14-18 Vancouver, Annual IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 29 2016.05.15-18 Vancouver, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 29 2016.05.15-18 Vancouver, CCECE 29 2016.05.15-18 Vancouver, & IEEE CCECE 29 2016.05.15-18 Vancouver. (n.d.). *2016 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) 2016 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) took place 14-18 May 2016 in Vancouver, BC, Canada*.
- INFORME ANUAL 2022*. (n.d.).

- Lanzamiento *PREC InnovAcción* — I3LAB ESPOL - Centro de Emprendimiento e Innovación. (n.d.). Retrieved December 2, 2023, from <https://www.i3lab.org/innovacion-prec>
- Liu, Z., Zhou, Q., Tian, Z., He, B. jie, & Jin, G. (2019a). A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 114). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109314>
- Liu, Z., Zhou, Q., Tian, Z., He, B. jie, & Jin, G. (2019b). A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 114). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109314>
- Makonin, S., & Popowich, F. (2015). Nonintrusive load monitoring (NILM) performance evaluation: A unified approach for accuracy reporting. *Energy Efficiency*, 8(4), 809–814. <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9306-2>
- Marchesoni, Franco., Mariño, Camilo., & Masquil Elías. (2020). *Monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas (NILM)*.
- Marcos Wittmann, F. (2017). *UNIVERSIDADE DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO OPTIMIZATION APPLIED TO RESIDENTIAL NON-INTRUSIVE LOAD MONITORING OTIMIZAÇÃO APLICADA AO MONITORAMENTO NÃO INTRUSIVO DE CARGAS ELÉTRICAS RESIDENCIAIS*. [www.tcpdf.org](http://www.tcpdf.org)
- Motlagh, N. H., Mohammadzaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of things (IoT) and the energy sector. In *Energies* (Vol. 13, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en13020494>
- Norma, E. (2018). *NORMA ISO 50001*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Prias, O., Campos, J., Rojas, D., & Salas, A. (n.d.). *Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001*.
- Roger, M., Alvarado, A. A., Antonio, I. F., Sandoval, A., Julio, I., & Portillo, A. (n.d.). *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR MSc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DECANO*.

- Ruano, A., Hernandez, A., Ureña, J., Ruano, M., & Garcia, J. (2019a). NILM techniques for intelligent home energy management and ambient assisted living: A review. In *Energies* (Vol. 12, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en12112203>
- Ruano, A., Hernandez, A., Ureña, J., Ruano, M., & Garcia, J. (2019b). NILM techniques for intelligent home energy management and ambient assisted living: A review. In *Energies* (Vol. 12, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en12112203>
- Torres, Y. (2020). Eficiencia energética y ahorro de energía residencial. *South Sustainability*, 1–4. <https://doi.org/10.21142/ss-0101-2020-011>
- Usm, T. (2019). *UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA Peumo Repositorio Digital USM* <https://repositorio.usm.cl>. <https://hdl.handle.net/11673/49126>
- Zhovkva, O. (n.d.). *The principles of energy efficiency and environmental friendliness for multifunctional complexes Los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente para complejos multifuncionales*. [www.ricuc.cl](http://www.ricuc.cl)