

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Planificación de políticas energéticas basadas en monitoreo de potencia  
activa y reactiva con metodología NILM

INGE-2728

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad**

**Autores:**

Sr. Jorge Luis Armijo Cevallos

Sr. Jhimmy Esteban Pinto Barrios

Guayaquil - Ecuador

2024 – 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, cuya luz y fortaleza han sido mi guía en cada paso de este camino. A mis padres, hermanos, familiares y amigos, por su inquebrantable apoyo, comprensión y motivación a lo largo de estos años, recordándome siempre la importancia del esfuerzo y la perseverancia.

Expreso también mi más sincero agradecimiento al MSc. Otto Alvarado y al PhD. Luis Ugarte, cuya orientación, dedicación y paciencia no solo hicieron posible la consecución de nuestros objetivos, sino que también nos inspiraron a crecer tanto profesional como personalmente, dejando una huella imborrable en nuestro desarrollo académico.  
Jorge Luis Armijo Cevallos.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo en cada etapa de este camino; a mis amigos, por su compañía y aliento en los momentos más desafiantes; y al MSc. Otto Alvarado y al PhD. Luis Ugarte, por su invaluable guía, conocimientos y dedicación durante el desarrollo de esta tesis. Su confianza y enseñanzas han sido fundamentales para alcanzar esta meta, por lo que les expreso mi más sincero agradecimiento.

Jhimmy Esteban Pinto Barrios.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Jorge Armijo Vega y Guadalupe Cevallos, cuya entrega, amor incondicional y sacrificio han sido la base sobre la que he construido mis sueños. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia me ha inspirado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, Cristopher y Lisbeth, agradezco el aliento constante y por estar presentes, brindándome su apoyo.

A Kaiser, que por muchos años fue mi fiel compañero en tantas noches de estudio, que aunque ya no esté, su recuerdo sigue acompañándome. A Dante, que con su alegría inagotable y compañía han hecho este camino final más llevadero, recordándome que el esfuerzo y la dedicación siempre se disfrutan aún más cuando se comparten con quienes nos brindan amor incondicional.

Jorge Luis Armijo Cevallos.

## DECLARACIÓN EXPRESA

---

Nosotros Pinto Barrios Jhimmy Esteban y Armijo Cevallos Jorge Luis reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 3 de Octubre del 2024.



---

Jhimmy Esteban  
Pinto Barrios



---

Jorge Luis  
Armijo Cevallos

## **TRIBUNAL DE EVALUACIÓN**

---

**Nombre del Profesor**

MSc. Isabel Patricia Pasmay Bohórquez

---

**Nombre del Profesor**

MSc. Otto Ismael

Alvarado Moreno

## RESUMEN

El presente proyecto se plantea en la planificación de políticas energéticas mediante el análisis de potencia activa y reactiva, utilizando la metodología NILM (Non-Intrusive Load Monitoring). El objetivo es identificar patrones de consumo eléctrico para optimizar la eficiencia energética en un laboratorio académico de ESPOL. Esto incluye detectar áreas con consumo ineficiente y oportunidades de mejora en cuanto al uso de la energía, con el fin de implementar estrategias que reduzcan significativamente costos operativos. Se emplea un sistema de monitoreo que es capaz de desagregar el consumo eléctrico de cargas por áreas específicas, detectando así las ineficiencias energéticas. Los patrones de demanda se analizan en tiempo real, lo que facilita la implementación de estrategias de optimización. Los principales resultados muestran una reducción significativa en el consumo energético no optimizado y mejoras en la gestión de la demanda eléctrica en áreas críticas. En base a estos resultados se proponen políticas energéticas orientadas a mejorar la eficiencia y mitigar los costos operativos en un laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), ESPOL.

**Palabras Clave:** Monitoreo de carga, eficiencia energética, NILM, políticas energéticas.

### ***Abstract***

*The present project focuses on planning energy policies through the analysis of active and reactive power using the NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) methodology. The objective is to identify electrical consumption patterns to optimize energy efficiency in an academic laboratory at ESPOL. This includes detecting areas with inefficient consumption and identifying improvement opportunities regarding energy use, aiming to implement strategies that significantly reduce operational costs. A monitoring system capable of disaggregating electrical consumption by specific areas is employed, thus identifying energy inefficiencies. Demand patterns are analyzed in real time, facilitating the implementation of optimization strategies. The main results show a significant reduction in non-optimized energy consumption and improvements in demand management in critical areas. Based on these results, energy policies are proposed to enhance efficiency and reduce operational costs in a laboratory at the Faculty of Electrical and Computer Engineering (FIEC), ESPOL.*

*Keywords: Load monitoring, energy efficiency, NILM, energy policies.*

## Índice general

<b>Índice general</b> .....	8
<b>Abreviaturas</b> .....	11
<b>Simbología</b> .....	12
<b>Índice de figuras</b> .....	13
<b>Índice de tablas</b> .....	13
Capítulo 1 .....	15
1.1.    Introducción.....	16
1.2.    Descripción del Problema .....	17
1.3.    Justificación del Problema .....	17
1.4.    Objetivos .....	18
1.4.1 Objetivo general .....	18
1.4.2 Objetivos específicos .....	18
1.5.    Marco Teórico .....	19
1.5.1. Eficiencia Energética .....	19
1.5.2. Potencia Activa.....	19
1.5.3. Potencia Reactiva .....	20
1.5.4.    NILM: Non-Intrusive Load Monitoring .....	21
1.5.5.    Desagregación Basada en Algoritmos de Optimización diaria .....	22
1.5.6.    Desagregación Basada en Eventos .....	23
1.5.7.    Estudio de cargas .....	24
1.5.8.    Norma ISO 50001.....	25
Capítulo 2 .....	27
2.1.    Metodología.....	28
2.1.    Línea Base Energética de Muestra .....	29
2.2.    Obtención de datos de plataforma de monitoreo.....	29
2.3.    Levantamiento de cargas actuales .....	31

2.4.	Estudio de perfil de carga de potencia previo a desagregación.....	33
2.5.	Desagregación de cargas usando NILM .....	34
2.5.1.	Modelo matemático .....	34
2.6.	Diseño de Políticas Energéticas.....	37
2.6.1.	Formulación y Selección de Alternativas .....	38
2.6.2.	Metodología de Diseño .....	38
2.6.3.	Justificación de Métodos y Recursos.....	39
2.6.4.	Consideraciones Éticas y Legales.....	40
Capítulo 3	.....	41
3.1.	Resultados y análisis .....	42
3.2.	Análisis de Perfiles de Consumo de Potencia .....	44
3.3.	Desagregación de Carga mediante Clustering.....	45
3.3.1.	Determinación de Número Óptimo de Clusters (Método del codo.....	45
3.3.2.	Representación y Etiquetado de Clusters.....	47
3.4.	Desagregación con AMPL .....	51
3.5.	Propuestas de diseño de Políticas Energéticas en base a resultados NILM.....	56
3.5.1.	Compromisos de Alta Dirección .....	56
3.5.2.	Planificación Energética .....	58
3.6.	Análisis Financiero .....	62
3.6.1.	Costos iniciales.....	62
3.6.2.	Costos de Operación y Mantenimiento.....	63
3.6.3.	Beneficios Proyectados.....	63
3.6.4.	Flujo de Caja .....	64
3.6.5.	Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) .....	64
3.6.5.	Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	64
3.6.6.	Cálculo de Payback.....	64
Capítulo 4	.....	65

4.1.	Conclusiones.....	66
4.2.	Recomendaciones .....	67

## **Abreviaturas**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
ISO	Organización Internacional de Normalización
NILM	Non-Intrusive Load Monitoring
RMS	Root Mean Squared
VAR	Voltamperios reactivos

## Simbología

$\theta$	Ángulo de fase entre el voltaje y la corriente.
CA	Corriente alterna
Cos	Coseno
I	Corriente
KW	Kilovatios
MW	Megavatios
P	Potencia activa
Q	Potencia reactiva
Sin	Seno
V	Voltaje

## Índice de figuras

Figura 1.1 Fases de los algoritmos de desagregación basados en eventos [11] .....	23
Figura 1.2 Tipos de dispositivos eléctricos según su patrón de consumo eléctrico [11].25	
Figura 1.3 Modelo de sistema de gestión de energía para ISO 50001[14] .....	26
Figura 2.1 Esquema metodológico detallado por pasos.....	28
Figura 2.1 Plataforma de monitoreo energético Hayiot .....	31
Figura 2.2 Medidor inteligente Shelly que toma los datos de consumo del laboratorio en general .....	31
Figura 3.1 Curva de potencias diarias de un día típico de consumo del laboratorio de muestra. ....	45
Figura 3.2 Representación gráfica de número de clusters apropiados en método del codo. ....	46
Figura 3.3 Gráfico de dispersión de potencia activa en k-means. ....	48
Figura 3.4 Gráfico de dispersión de potencia reactiva en k-means. ....	48
Figura 3.5 Gráfico de dispersión de potencia aparente en k-means. ....	49
Figura 3.6 Datos de potencias totales tabuladas en un día en específico.....	52
Figura 3.7 Gráfico de curva de potencia activa con su respectiva desagregación de cargas .....	53
Figura 3.8 Gráfico de curva de potencia reactiva con su respectiva desagregación de cargas .....	54
Figura 3.9 Gráfico de curva de potencia aparente con su respectiva desagregación de cargas .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Tabla explicativa de ciclo de deming PDCA [15].....	26
Tabla 2.1 Información sobre los equipos y la potencia instalada en el laboratorio de sistemas telemáticos.[8]. ....	32
Tabla 3.1 Descripción y etiqueta de tipo de cargas en laboratorio de sistemas telemáticos .....	43
Tabla 3.2 Identificación y asignación de cargas a cada clúster .....	50
Tabla 3.3 Tabla para sintetizar los objetivos y sus EnPIs .....	59
Tabla 3.4 Acciones propuestas, su impacto y responsable principal.....	60

Tabla 3.5 Datos de inversión inicial .....	62
Tabla 3.6 Datos de costos operativos anuales .....	63
Tabla 3.7 Datos de beneficios económicos proyectados.....	63
Tabla 3.8 Flujo de caja de proyecto.....	64
Tabla 3.9 Datos de payback a 5 años .....	64

## **Capítulo 1**

## **1.1. Introducción**

El crecimiento de la demanda energética en Ecuador ha sido notable en el último año, reflejando un aumento significativo en comparación con el año anterior. Según datos del CENACE, la demanda eléctrica ha mostrado un incremento del 4.5% en 2023, lo que plantea desafíos importantes para la planificación y gestión del suministro energético en el país. Este aumento en la demanda no sólo se debe al crecimiento poblacional, sino también a la creciente electrificación de ámbitos como el sector industrial y servicios de movilización, que requieren una atención especial para asegurar un suministro continuo y eficiente.

La necesidad de implementar políticas energéticas efectivas se vuelve imperativa, especialmente en un contexto donde la eficiencia energética puede jugar un papel crucial. La normativa ISO 50001, que establece un marco para mejorar el desempeño energético mediante la implementación de sistemas de gestión de energía, se presenta como una herramienta valiosa para abordar estos desafíos. Esta norma no solo promueve la reducción del consumo energético y los costos asociados, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. [1]

Este proyecto aborda las necesidades actuales a ser implementadas de mejor forma en el campus ESPOL, al ser identificado como un espacio donde se existe un gran consumo energético, lo que representa una oportunidad para aplicar estrategias de monitoreo y gestión energética más eficientes.

Además, el uso de metodologías como Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) facilitará la desagregación del consumo energético por dispositivos, proporcionando datos para la toma de decisiones informadas sobre políticas energéticas. Esto permitirá no solo optimizar el uso de energía en áreas estratégicas, sino también establecer un modelo replicable para toda la universidad y otras instituciones educativas

## **1.2. Descripción del Problema**

Hoy en día, las instituciones académicas enfrentan un desafío en la gestión de eficiencia energética causada por la falta de control sobre su consumo eléctrico. Esta carencia impide comprender los patrones de demanda, dificultando la implementación de políticas energéticas efectivas y ajustadas a las necesidades reales. La ausencia de datos en tiempo real, sumada a la falta de cultura de uso responsable, contribuye al desperdicio de energía; incrementando los costos operativos y afectando al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Sin una metodología adecuada de monitoreo, resulta complicado identificar áreas de ineficiencia y proponer acciones correctivas para optimizar el consumo energético.

## **1.3. Justificación del Problema**

La gestión eficiente del consumo energético en instituciones académicas es crucial para garantizar tanto el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad como la reducción de los costos operativos. En el campus universitario, la falta de un monitoreo preciso y en tiempo real del consumo eléctrico impide una adecuada toma de decisiones en cuanto al uso responsable de la energía. Esto contribuye al desperdicio de recursos, afectando negativamente los presupuestos y dificultando el cumplimiento de las metas de sostenibilidad y eficiencia energética. Implementar una metodología de monitoreo no intrusivo (NILM), que permita desagregar el consumo por áreas específicas, es esencial para identificar patrones de demanda y áreas de ineficiencia.

A través de este enfoque, se podrán proponer políticas energéticas más informadas y ajustadas a las necesidades reales del campus. Estas políticas no solo mejorarían el control del consumo, sino que también contribuirían al compromiso de la institución con la reducción de su huella de carbono, alineándose con el objetivo de desarrollo sostenible

7 (energía asequible y no contaminante). Además, la optimización del uso de energía reducirá los costos operativos, liberando recursos que pueden ser destinados a otros proyectos educativos o de investigación.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

- Desarrollar una planificación de políticas energéticas basado en el monitoreo de carga en función de la potencia activa y reactiva, utilizando la metodología NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) para identificar patrones de consumo eléctrico y optimizar el uso de la energía.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Implementar un sistema de monitoreo que permita desagregar el consumo de energía por áreas específicas, para identificar ineficiencias energéticas.
- Analizar los patrones de demanda en función de la potencia activa y reactiva mediante datos en tiempo real, con el fin de diseñar estrategias de optimización del consumo energético.
- Proponer políticas energéticas basadas en los resultados del monitoreo para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos de uno de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), ESPOL.

## **1.5. Marco Teórico**

### ***1.5.1. Eficiencia Energética***

La eficiencia energética se define como el uso de la energía de manera óptima para efectuar un proceso o prestar un servicio, minimizando el desperdicio y reduciendo el consumo de recursos energéticos primarios. Implica obtener el máximo rendimiento con el menor uso de energía posible, lo que, para una actividad determinada, se consume menos energía mientras se generan los mismos resultados, lo que reduce tanto los costos operativos como los impactos negativos en el medio ambiente. [2]

El concepto de eficiencia energética puede expresarse como un indicador de consumo específico de energía, donde se mide el consumo en relación con una unidad de producción o actividad, lo que permite comparar la eficiencia de diferentes procesos o equipos a lo largo del tiempo. Además, la importancia de la eficiencia energética radica en que permite no solo la reducción de los costos para empresas y consumidores finales, sino también en su contribución significativa a la sostenibilidad medioambiental, al minimizar la emisión de gases de efecto invernadero y reducir el uso de combustibles fósiles, que son recursos limitados. [2]

### ***1.5.2. Potencia Activa***

La potencia verdadera, también llamada potencia activa o real, es la energía que se consume o utiliza de manera efectiva en un circuito de corriente alterna (CA). Esta es la potencia que permite el funcionamiento de los circuitos o cargas eléctricas en un sistema. Se mide en kilovatios (kW) o megavatios (MW) y refleja el rendimiento real del sistema eléctrico [3], [4].

Como la resistencia no impide el flujo de corriente, la corriente en un resistor no tiene desfase con respecto al voltaje aplicado. Por lo tanto, la expresión de la potencia activa en un circuito resistivo de CA se simplifica a la siguiente ecuación:

$$P = V * I * \cos \theta \quad (1.1)$$

En esta fórmula,  $\theta$  representa el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. En un circuito completamente resistivo,  $\theta$  es igual a cero grados, lo que significa que el voltaje y la corriente están sincronizados. Como resultado, la fórmula de la potencia activa se reduce al producto del voltaje y la corriente RMS [5].

### ***1.5.3. Potencia Reactiva***

La potencia reactiva es la parte de la energía eléctrica que va y viene entre la carga y la fuente sin realizar trabajo útil. Esto ocurre cuando hay un desfase entre el voltaje y la corriente en un circuito de CA. Se mide en voltamperios reactivos (VAR) [3].

En lugar de moverse en una sola dirección, la potencia reactiva se desplaza de un lado a otro en el circuito, lo que provoca que la energía fluya en ambas direcciones o reaccione sobre sí misma. Puede ser positiva cuando va de la fuente a la carga, y negativa cuando se mueve en sentido contrario. La ecuación de la potencia reactiva viene representada de la siguiente manera:

$$Q = V * I * \sin \theta \quad (1.2)$$

Donde Q representa la potencia reactiva, V es el voltaje en valor eficaz (RMS), I es la corriente en valor eficaz (RMS) y  $\theta$  es el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente.

Aunque no participa directamente en el funcionamiento del equipo, la potencia reactiva ayuda a calcular el factor de potencia de un circuito; y es necesaria para mantener los niveles de voltaje y corriente. Asimismo, la potencia reactiva ocasiona ineficiencias y pérdidas de energía al incrementar la potencia aparente, lo que resulta en un mayor flujo de corriente [4] [5].

#### ***1.5.4. NILM: Non-Intrusive Load Monitoring***

El concepto de NILM fue introducido por George W. Hart en 1984 como un método para desagregar cargas eléctricas al examinar el consumo de energía específico de electrodomésticos dentro de datos de carga agregados. Esta metodología permite identificar los patrones de consumo de energía de los dispositivos a través del análisis de señales eléctricas adquiridas en un único punto de medición, generalmente en el medidor de energía principal. De esta forma, se evita la necesidad de instalar medidores en cada aparato, reduciendo costos y la complejidad de la instalación [6] [7].

En un sistema eléctrico, las cargas están dispuestas en paralelo, y la potencia total consumida corresponde a la suma de la potencia utilizada por cada dispositivo, conforme al teorema de Tellegen. Para modelar este comportamiento, se emplea un vector binario  $a$ , donde cada componente indica si un electrodoméstico está activo (1) o inactivo (0). De esta forma, se calcula la potencia en cualquier momento específico  $t$ . [8]

$$P(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t)P_i + e(t) \quad (1.3)$$

El término  $e(t)$  representa el error que puede afectar la función  $P(t)$ , mientras que  $P_i$  se refiere a la potencia consumida por el dispositivo o al estado de consumo en el que se encuentra trabajando. En la ecuación (1.3), el término  $P_i$  puede indicar un estado o

nivel de funcionamiento para un dispositivo que opere con varios niveles de consumo. Resolver el problema implica identificar, para cada instante de tiempo  $t$ , el valor de  $a_i$  que minimice el error. Este enfoque revela la ausencia de una solución exacta al problema y deja fuera consideraciones como la adquisición de datos, su procesamiento, y el desarrollo y evaluación de algoritmos. [8]

En cuanto a la función objetivo, la idea es minimizar la ecuación 1.3 reformulando la función como:

$$\min \left| P(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t)P_i \right| \quad (1.4)$$

Esta formulación busca encontrar la combinación de estados de Potencia  $P_i$  que mejore y aproxime la medida agregada  $P(t)$  [9]. Si, además se dispone de la potencia reactiva  $Q(t)$ , la formulación puede extenderse de la siguiente manera [8]:

$$\min \left| [P(t) \ Q(t)] - \sum_{i=1}^n x_i(t)[P_i \ Q_i] \right| \quad (1.5)$$

Aquí  $Q(t)$  representa la medida de potencia reactiva y  $Q_i$  los estados reactivos correspondientes de cada dispositivo, lo cual permite una desagregación más precisa al incluir esta información adicional en el modelo [8].

### ***1.5.5. Desagregación Basada en Algoritmos de Optimización diaria***

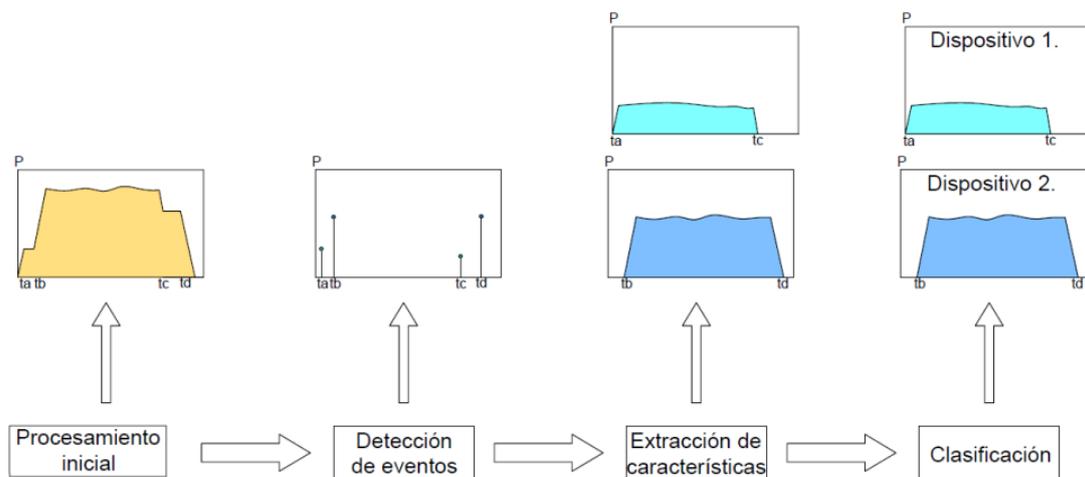
La optimización de la desagregación diaria usa aprendizaje automático para descomponer datos de una previsión semanal, optimizando el perfil de desagregación mediante comparaciones con valores clave de cada paso de previsión. Estos valores pueden incluir cantidades entregadas, solicitadas u otros datos del modelo. El proceso puede considerar días laborables y datos de calendario, facilitando el equilibrio y la conciliación de pedidos abiertos, así como la sustitución manual de perfiles de

desagregación diaria. El algoritmo también permite incorporar información del ciclo de vida del producto. Para usar este algoritmo, los modelos de previsión deben incluir solo la eliminación de aumentos de ventas por promoción como paso previo, un único paso de previsión y no realizar cálculos de error. [10]

### 1.5.6. Desagregación Basada en Eventos

La desagregación basada en eventos se centra en la identificación y clasificación de estados transitorios, como encendidos y apagados de dispositivos, mientras que los algoritmos no basados en eventos funcionan estimando el estado de un grupo de dispositivos en cada momento, utilizando mediciones pasadas como se ilustra en la figura 1.1.

**Figura 1.1** Fases de los algoritmos de desagregación basados en eventos [11]



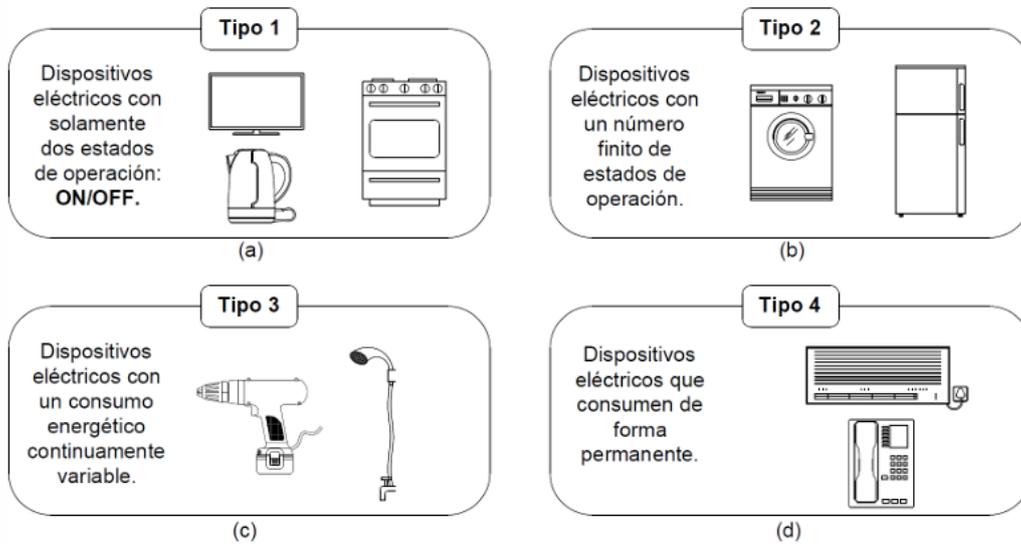
Las etapas de esta desagregación consisten en un procesamiento inicial, que parte de la identificación y detección de datos según los tipos de errores que pueden existir en una medición eléctrica como puede ser la representación gráfica de una curva de potencia en la que se pueden eliminar ruidos y picos; que pueden ser transientes y armónicos. La segunda etapa hace énfasis en la detección de eventos, que analiza y reconoce los cambios que puede experimentar dicha medición eléctrica; en este caso al mencionar el ejemplo de la gráfica de potencia se puede hacer uso de un analizador o un umbral adaptable para

separar los eventos de los cambios o fluctuaciones. La tercera etapa alude a la extracción de características, es decir que cualquier evento que se suscite debe clasificarse según ciertas particularidades al realizar la medición, como por ejemplo las potencias mínimas y máximas de una curva de potencia, áreas bajo la curva, etc. Y la última etapa clasifica cada una de las curvas desagregadas, que se realizan en las etapas anteriores, según el dispositivo que lo represente de mejor manera [11].

#### ***1.5.7. Estudio de cargas***

- **Tipo I (Encendido/Apagado):** Aparatos con dos estados de operación, lo cual es típico en estudios de cargas simples.
- **Tipo II (Múltiples Estados):** Dispositivos con un número finito de estados de operación (diferentes niveles), como ventiladores. O aires acondicionados tradicionales.
- **Tipo III (Cargas de potencia variable):** Dispositivos con variaciones continuas en su consumo de energía, conocidos como dispositivos de potencia variable (CVD), como taladros eléctricos.
- **Tipo IV (Cargas permanentes):** Dispositivos que consumen energía a una tasa constante, como decodificadores de televisión o routers, cuyas cargas están en operación continua. [6]

**Figura 1.2** Tipos de dispositivos eléctricos según su patrón de consumo eléctrico [11].



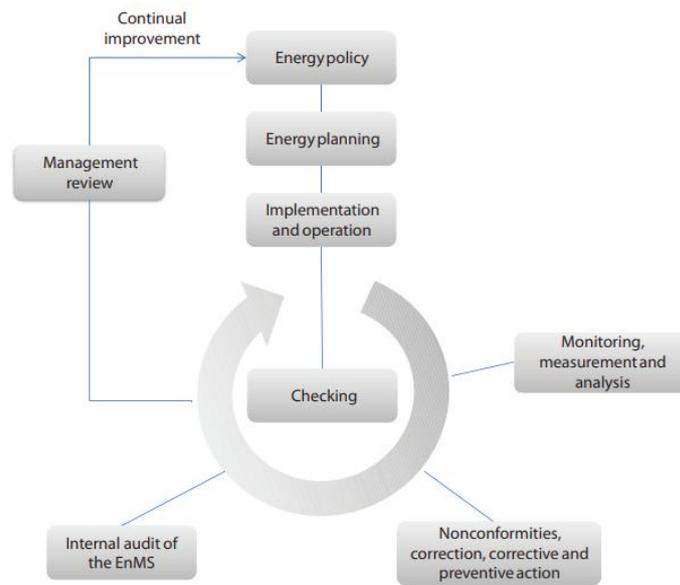
### 1.5.8. Norma ISO 50001

La normativa ISO 50001 desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), establece los requisitos para un Sistema de Gestión de Energía, cuyo objetivo es guiar a las organizaciones en la creación, implementación, mantenimiento y mejora de un sistema que promueva un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en el desempeño energético, abarcando aspectos como la eficiencia, seguridad, uso y consumo de energía. El estándar se basa en el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), que permite a las organizaciones gestionar sus recursos energéticos de forma más eficiente y sostenible, además de ayudar a formular políticas energéticas, definir objetivos claros de eficiencia energética y desarrollar planes de acción. Además, facilita la medición, seguimiento y análisis del consumo energético, facilitando la identificación de áreas de mejora [12].

La norma permite a las organizaciones reducir su consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que no solo mejora su desempeño ambiental, sino que también genera un impacto positivo en los costos operativos y la competitividad.

Al optimizar el uso de recursos energéticos y establecer objetivos claros de desempeño, las empresas logran una eficiencia operacional que se traduce en una mejor rentabilidad y en un posicionamiento favorable ante clientes y socios estratégicos [13] [14].

**Figura 1.3** Modelo de sistema de gestión de energía para ISO 50001[14]



En el contexto de gestión de energía, el modelo PDCA puede resumirse en la siguiente tabla:

**Tabla 1.1** Tabla explicativa de ciclo de deming PDCA [15]

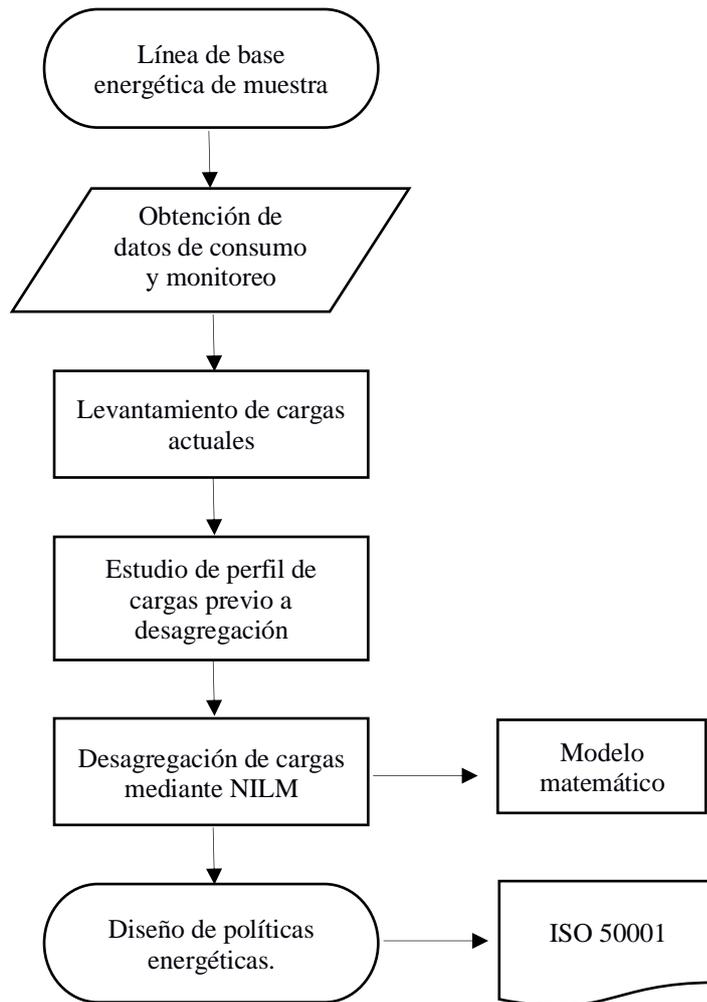
Ciclo de Deming PDCA	
Planificar	Comprender el contexto, establecer políticas energéticas, identificar riesgos y asegurar el apoyo de la alta dirección
Hacer	Implementar los planes de acción para mejorar el desempeño energético
Verificar	Monitorear, medir y auditar los resultados en relación con los objetivos energéticos
Actuar	Tomar acciones para corregir y asegurar la mejora continua del sistema de gestión energética

## **Capítulo 2**

## 2.1. Metodología

El proyecto se desarrolla dentro de un estudio enfocado en la formulación y validación de políticas energéticas a través del monitoreo detallado de carga en función de la potencia activa y reactiva, utilizando la metodología de Monitoreo de Carga No Intrusivo (NILM). Este enfoque metodológico permite identificar patrones específicos de consumo en tiempo real y desagregar el uso energético por áreas, facilitando así la detección de ineficiencias y la optimización en el uso de recursos energéticos. La implementación del NILM, complementada con estándares de gestión energética como la norma ISO 50001, asegura la exactitud en la recopilación de datos y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Figura 2.1** Esquema metodológico detallado por pasos.



En la Figura 2.1 se muestra el esquema metodológico que guía cada fase del proyecto, desde la adquisición de datos hasta la propuesta de políticas basadas en los análisis de consumo.

### ***2.1. Línea Base Energética de Muestra***

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el laboratorio de sistemas telemáticos, ubicado en el edificio 11-C de la facultad de ingeniería en electricidad y computación. La selección de la muestra se basa en la disponibilidad de mediciones y la facilidad de poder extraer datos desde su plataforma de monitoreo PREC-ESPOL.

Los parámetros eléctricos analizados son la corriente en amperios [A], voltaje en voltios [V], energía en vatios-hora [Wh], potencia activa consumida en vatios [W] y potencia reactiva medida en voltios-amperios reactivos [VAR]. Para este estudio, se dispusieron de datos obtenidos previos a los cortes dado el periodo de estiaje.

### ***2.2. Obtención de datos de plataforma de monitoreo***

Los datos usados para la metodología fueron obtenidos de la plataforma de monitoreo Hayiot, mostrada en la figura 2.2, la cual proporciona registros de consumo energético en tiempo real y mediciones históricas. Estos datos han sido fundamentales en estudios anteriores, como la implementación de un Sistema de Gestión Energética (SGEn) que utiliza medidores inteligentes y métodos de monitoreo no intrusivo de cargas (NILM) para la desagregación del consumo energético en entornos educativos. [8].

Para el presente estudio se retomaron los datos generados por esta plataforma, con el fin de abordar un nuevo enfoque metodológico que incorpora la optimización combinatoria incluyendo la potencia reactiva, aspecto no considerado en investigaciones anteriores. Para ello, se realizó el cálculo de la potencia reactiva (Q) utilizando las siguientes ecuaciones:

1. Para cada fase (A, B, C):

$$Q = V * I * (\arcsin(fp)) \quad (2.1)$$

Donde:

- P es la potencia activa de la fase correspondiente.
- fp es el factor de potencia de la misma fase.

2. Para el sistema total:

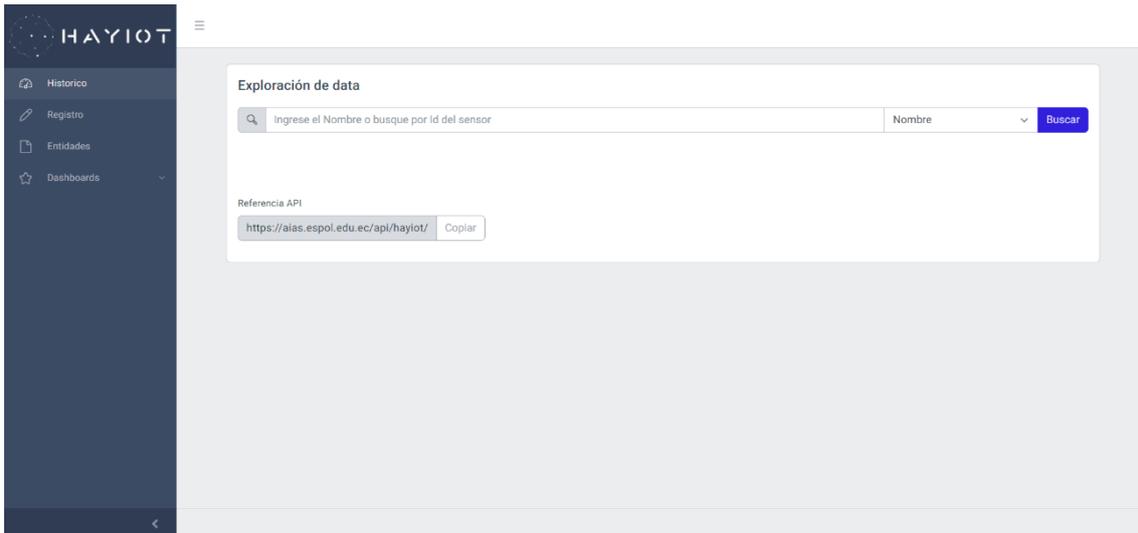
$$Q_{total} = Q_A + Q_B + Q_C \quad (2.2)$$

Donde:

- $Q_{total}$  es la suma de las potencias reactivas de las fases (potencia\_A + potencia\_B + potencia\_C).

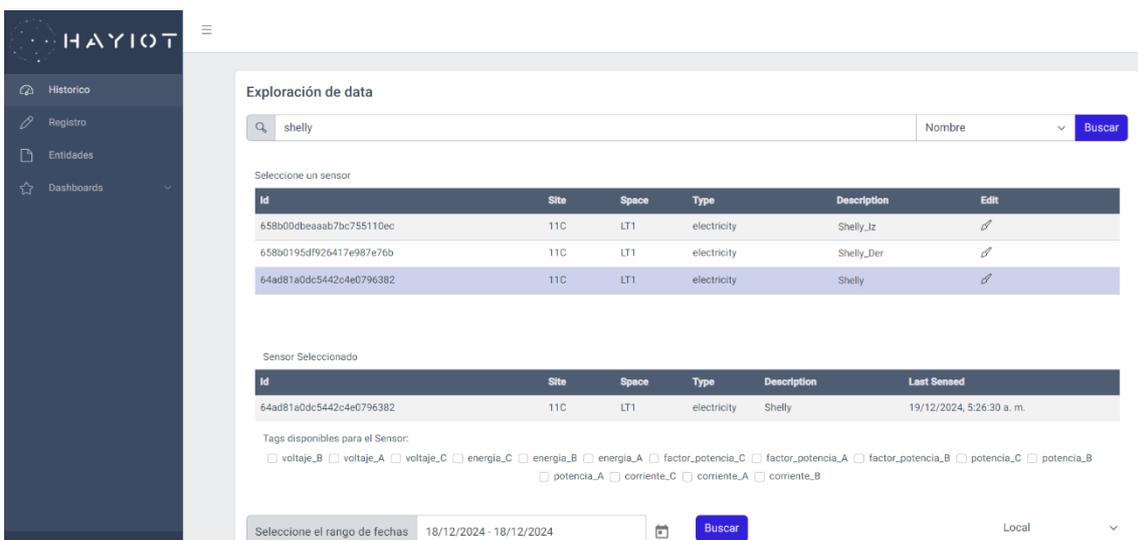
Los valores de potencia activa (P) y factor de potencia (fp) se obtuvieron de los registros de la plataforma para las fases A, B y C, que para en este caso en específico se optó por seleccionar lunes 19 de agosto, en horarios de 05:00 am a 04:45 am del día siguiente. Esta toma de datos se traduce en obtener el comportamiento de las cargas eléctricas en función de las características completas de consumo, contribuyendo al desarrollo de estrategias de eficiencia energética más precisas y personalizadas.

**Figura 2.2** Plataforma de monitoreo energético Hayiot



La elección de trabajar con los datos proporcionados por esta plataforma responde a su confiabilidad y a la validez de las mediciones previamente verificadas en el contexto descrito en [8]. Esto asegura la calidad del análisis, mientras se extiende el alcance de la investigación mediante la integración de nuevos criterios de optimización.

**Figura 2.3** Medidor inteligente Shelly que toma los datos de consumo del laboratorio en general



### 2.3. Levantamiento de cargas actuales

El levantamiento de cargas eléctricas se llevó mediante un enfoque técnico basado en la identificación y caracterización detallada de los equipos instalados en el laboratorio de muestra. Este procedimiento, basado en los lineamientos establecidos en [8], incluyó la recopilación de datos clave como la potencia instalada, las especificaciones técnicas de los dispositivos, su ubicación y los patrones de uso. La integración de estos datos permite construir una representación fiel del perfil energético de las instalaciones, esenciales para el análisis y modelación posterior.

En este estudio, se adaptaron y ampliaron técnicas propuestas en [8], permitiendo incorporar elementos adicionales como agrupamiento de equipos relacionados con las mediciones globales de consumo. Esta información brindó una visión completa del comportamiento energético del laboratorio, identificando las cargas que afectan significativamente el consumo total.

**Tabla 2.1** Información sobre los equipos y la potencia instalada en el laboratorio de sistemas telemáticos.[8].

<b>Descripción de cargas</b>	<b>Potencia activa estimada [kW]</b>	<b>Potencia activa estimada [kVAr]</b>
<b>Iluminación del Laboratorio de Sistemas Telemáticos</b>	0.69	0.423
<b>Tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos.</b>		
- <b>Luces de emergencia</b>	0.72	0.441
- <b>6 computadoras</b>		
<b>Iluminación del pasillo exterior y proyector.</b>	0.25	0.153
<b>Tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos</b>		
- <b>Letrero de salida de emergencia.</b>	0.48	0.294
- <b>4 computadoras</b>		

<b>Sobrecarga de tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos</b>		
- 5 computadoras.	0.60	0.368
<b>Aire acondicionado del laboratorio LAB006 (24 kBTU/h)</b>	3.20	1.986
<b>Sobrecarga de tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos</b>		
- 5 computadoras.	0.60	0.368
<b>Aire acondicionado del laboratorio LAB006 (24 kBTU/h)</b>	3.20	1.986

#### ***2.4. Estudio de perfil de carga de potencia previo a desagregación***

Con el propósito de realizar el análisis del perfil de carga de potencia previo a la desagregación, se desarrolló un programa en Python que procesó datos obtenidos de la plataforma Hayiot, en formato CSV. Los archivos contenían registros continuos de potencia activa (P) y factor de potencia (fp), correspondiente al periodo comprendido del lunes 19 de agosto, en horario de 5:00 am a 4:59 am del día siguiente. El programa estructuró y organizó los datos para calcular, mediante la fórmula 2.1, la potencia reactiva Q en cada intervalo de tiempo, con el fin de obtener una caracterización completa del comportamiento energético.

Con los valores calculados, se generaron perfiles de carga diarios, que permiten identificar patrones característicos de consumo energético, como picos de demanda y períodos de carga base.

Además, se calcularon indicadores clave como la potencia aparente y el factor de potencia promedio, lo que proporcionó una visión más completa del comportamiento

eléctrico de las cargas monitoreadas para evaluar la eficiencia energética del sistema y detectar posibles ineficiencias.

### **2.5. Desagregación de cargas usando NILM**

El método NILM puede implementarse mediante dos métodos de aprendizaje, tales como el supervisado y no supervisado. Además, los algoritmos se clasifican en reconocimiento de patrones y optimización combinatoria. Este estudio aplicó NILM de forma práctica, adaptando técnicas para que la desagregación sea efectiva. Dado el tipo de datos, se empleó un modelo no supervisado.

#### **2.5.1. Modelo matemático**

El monitoreo no intrusivo de cargas (NILM) se plantea como un problema de optimización combinatoria donde el objetivo es descomponer las mediciones agregadas de potencia (activa y reactiva en contribuciones individuales asociadas a dispositivos específicos. Este tipo de problemas implica lidiar con la complejidad combinatoria derivada de los múltiples estados de operación de cada dispositivo, así como con restricciones físicas y temporales inherentes al sistema eléctrico [9].

El modelo matemático, propuesto por Marcos Wittmann, utiliza un enfoque de programación lineal entera mixta (MILP), que combina variables continuas y binarias para representar tanto las magnitudes eléctricas como los estados discretos de los dispositivos. El modelo busca minimizar el error existente entre las mediciones reales de potencia activa y reactiva, y las estimaciones derivadas de los estados operativos de las cargas eléctricas. De manera que el modelo se desglosa en las siguientes ecuaciones:

$$\min_{x_i(t)} \sum_{t \in T} \delta_p(t) + \delta_q(t) \quad (2.3)$$

Siendo la ecuación 2.3 la función objetivo que minimiza el error combinado de potencia activa y reactiva en cada instante de tiempo.

$$P(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t) P_i \leq \delta_P(t) \quad (2.4)$$

$$Q(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t) Q_i \leq \delta_Q(t) \quad (2.5)$$

$$P(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t) P_i \geq -\delta_P(t) \quad (2.6)$$

$$Q(t) - \sum_{i=1}^n x_i(t) Q_i \geq -\delta_Q(t) \quad (2.7)$$

$$\sum_{k=t}^{t+MD_i-1} x_i(k) \geq MD_i [x_i(t) - x_i(t-1)] \quad (2.8)$$

Las ecuaciones 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 corresponden a las restricciones físicas que garantizan que las potencias activas y reactivas de las cargas que están presentes en el laboratorio se sumen a las mediciones totales; dentro de los márgenes de error controlado. Mientras que la ecuación 2.8 corresponde a la función restricción de tiempo mínimo de operación, que asegura que las cargas eléctricas permanezcan encendidas por un tiempo mínimo.

Este modelo matemático permite múltiples aplicaciones significativas dentro del ámbito de la desagregación de cargas no intrusiva (NILM), más que todo aplicado en entornos residenciales. Pero su implementación puede abordar desafíos inherentes a este campo, como pueden ser la similitud de firmas de potencia entre las cargas eléctricas, el

ruido en las mediciones y las limitaciones computacionales como puede ser el acceso a aquellos datos. El análisis tanto de la potencia activa como de la potencia reactiva amplía la capacidad del modelo para distinguir las cargas eléctricas presentes en las curvas de potencia, por ejemplo, aparatos que se conectan a los tomacorrientes del laboratorio que podría ser un computador o proyectores, pueden tener consumos de potencia activa similares pero sus valores de potencia reactiva son distintas debido a sus características internas; como puede ser la presencia de circuitos electrónicos.

Uno de los principales retos del monitoreo no intrusivo de cargas es la ocurrencia de conmutaciones múltiples, donde pequeñas variaciones en las mediciones agregadas de potencia pueden generar errores en la identificación de los estados de los dispositivos. Para abordar esta problemática, el modelo propuesto integra restricciones de tiempo mínimo de operación que aseguran que una carga eléctrica identificada como activa permanezca en ese estado durante un intervalo coherente con su comportamiento real. Sin embargo, en escenarios reales donde no se dispone de datos específicos sobre las características operativas de cada dispositivo, la implementación de estas restricciones resulta poco factible.

El uso efectivo de un tiempo mínimo de operación implica tener la disponibilidad de información de los patrones de uso de cada carga, datos que en la práctica no siempre está disponible. Esta situación es especialmente frecuente en entornos con múltiples dispositivos y mediciones limitadas, como aquellas basadas únicamente en potencias agregadas registradas a baja frecuencia. En tales casos la ausencia de estos datos dificulta la identificación de ciclos claros de encendido y apagado, haciendo inviable la aplicación de restricciones basadas en tiempos mínimos.

Ante esta limitación, una alternativa es simplificar el modelo eliminando la restricción  $MD_i$  ya que esto permite enfocar el análisis en la concordancia entre las potencias totales medidas y estimadas, sin depender de supuestos que no puedan ser verificados. Si bien esta simplificación puede reducir la precisión en la identificación de dispositivos cuyo funcionamiento depende críticamente de ciclos mínimos, favorece un modelo más versátil y adaptable; que para este estudio se consideran que las cargas solo tendrán un estado de operación, que puede ser encendido o apagado. De este modo, se optimiza el rendimiento en contextos con información limitada, priorizando un enfoque práctico que maximice la aplicabilidad en escenarios reales.

Otro de los retos de esta metodología es trabajar con mediciones agregadas cuando no se dispone de un ground truth, es decir, mediciones individuales de cada dispositivo. Sin datos específicos sobre el comportamiento de las cargas, se vuelve difícil realizar una desagregación precisa, ya que el modelo debe operar con suposiciones generales sobre el consumo de los dispositivos. Esta falta de información detallada implica que las técnicas de NILM deben adaptarse a datos incompletos, lo que incrementa la incertidumbre en las predicciones y puede afectar la precisión de las estimaciones. En contextos reales, donde la información disponible es limitada o ruidosa, las soluciones deben ser lo suficientemente flexibles para gestionar esta incertidumbre y seguir ofreciendo resultados útiles.

## ***2.6. Diseño de Políticas Energéticas***

El diseño de las políticas energéticas se estructuró como un enfoque metodológico que permitiera identificar, analizar y gestionar los patrones de consumo energético, incorporando tanto la potencia activa como la reactiva. La formulación de estas políticas

buscó establecer un marco estratégico que garantizara la sostenibilidad, la eficiencia energética y la alineación con la normativa ISO 50001.

### ***2.6.1. Formulación y Selección de Alternativas***

Inicialmente, se consideraron varias alternativas metodológicas para abordar el problema energético identificado. Estas incluyeron el uso de monitoreo energético convencional, basado en mediciones globales del consumo, y enfoques avanzados que integraban tecnologías de monitoreo desagregado. Tras un análisis comparativo, se seleccionó una metodología que permitiera desagregar los consumos individuales de equipos del laboratorio de sistemas telemáticos, proporcionando un nivel de detalle suficiente para diseñar estrategias personalizadas de optimización energética.

La inclusión de la potencia reactiva en el análisis se justificó por su impacto directo en el desempeño del sistema eléctrico. Se priorizaron métodos capaces de caracterizar la relación entre potencia activa y reactiva, identificando oportunidades de mejora en términos de corrección del factor de potencia y reducción de pérdidas energéticas.

### ***2.6.2. Metodología de Diseño***

La planificación del diseño de las políticas energéticas empezó con un análisis de los datos energéticos recolectados a partir de datos energéticos proporcionados por la plataforma de monitoreo HAYIOT- ESPOL, en relación con los datos obtenidos en [8]. Este análisis incluyó mediciones para construir una línea base energética que representara fielmente los patrones de consumo del sistema. La metodología de planificación consistió en tres pasos principales:

1. Recopilación y procesamiento de datos relacionados con el consumo de potencia activa y reactiva, los cuales fueron procesados utilizando herramientas analíticas que permitieron desagregar el consumo por cargas.
2. Con los datos procesados, se realizó un análisis para determinar los equipos con mayor consumo energético.
3. Se establecieron objetivos preliminares basados en la línea base energética, como la mejora del factor de potencia y la reducción de consumos de equipos.

Se tuvieron en cuenta los principios de sostenibilidad, el uso eficiente de la energía y la viabilidad económica en la planificación, con el fin de asegurar que las estrategias propuestas sean escalables y puedan ser replicadas en otros contextos similares.

### ***2.6.3. Justificación de Métodos y Recursos***

Los métodos preseleccionados para el diseño fueron defendidos en función de su capacidad para proporcionar información completa y confiable sobre el consumo de energía. La desagregación del consumo a través del uso de herramientas analíticas no invasivas hizo posible evitar grandes disturbios en la arquitectura existente, lo que ayudó a facilitar la implementación. Los recursos investigados incluyeron:

- **Medidores inteligentes:** Estos dispositivos proporcionaron datos granulares sobre el consumo de potencia activa y reactiva en intervalos de tiempo regulares, lo que fue fundamental para identificar patrones y tendencias.
- **Herramientas de análisis energético:** Se utilizaron plataformas tecnológicas capaces de procesar grandes volúmenes de datos, generando visualizaciones y reportes para facilitar la toma de decisiones.

- **Normativa ISO-50001:** Sirvió como marco de referencia para garantizar que el diseño de las políticas cumpliera con los estándares internacionales de gestión energética.

#### ***2.6.4. Consideraciones Éticas y Legales***

El diseño de la metodología respetó principios éticos y legales, garantizando el cumplimiento de las normativas, incluida la ISO 50001. Los datos recolectados fueron tratados de manera confidencial, limitando su uso exclusivamente a fines académicos.

## **Capítulo 3**

### **3.1. Resultados y análisis**

En este capítulo se presentan los resultados de la simulación del modelo de desagregación implementado en AMPL, centrados en las curvas de potencia activa y reactiva de días específicos. Además, se incorpora el uso de técnicas de aprendizaje automático, como K-means, para identificar patrones en los datos y asignar consumos individuales a las cargas eléctricas del laboratorio.

La potencia activa refleja los patrones de consumo instantáneo de energía, mientras que la potencia reactiva aporta información sobre las características inductivas o capacitivas de las cargas. Con el uso de K-means se agrupan los datos en clústeres que representan estados de operación específicos, lo que facilita la asignación de estos consumos a cada dispositivo; permitiendo una evaluación precisa del modelo en escenarios reales. Para realizar aquello es necesario contar con una estimación del consumo energético de las cargas instaladas en el laboratorio de telemática, en la tabla 3.1 muestra valores estimados de consumo eléctrico, donde se consideran tanto la potencia activa (kW), que es la energía realmente utilizada por los equipos, como la potencia reactiva (kVAr), que está relacionada con dispositivos asociados con componentes inductivos/capacitivos, como motores o sistemas de aire acondicionado.

**Tabla 3.1** Descripción y etiqueta de tipo de cargas en laboratorio de sistemas telemáticos

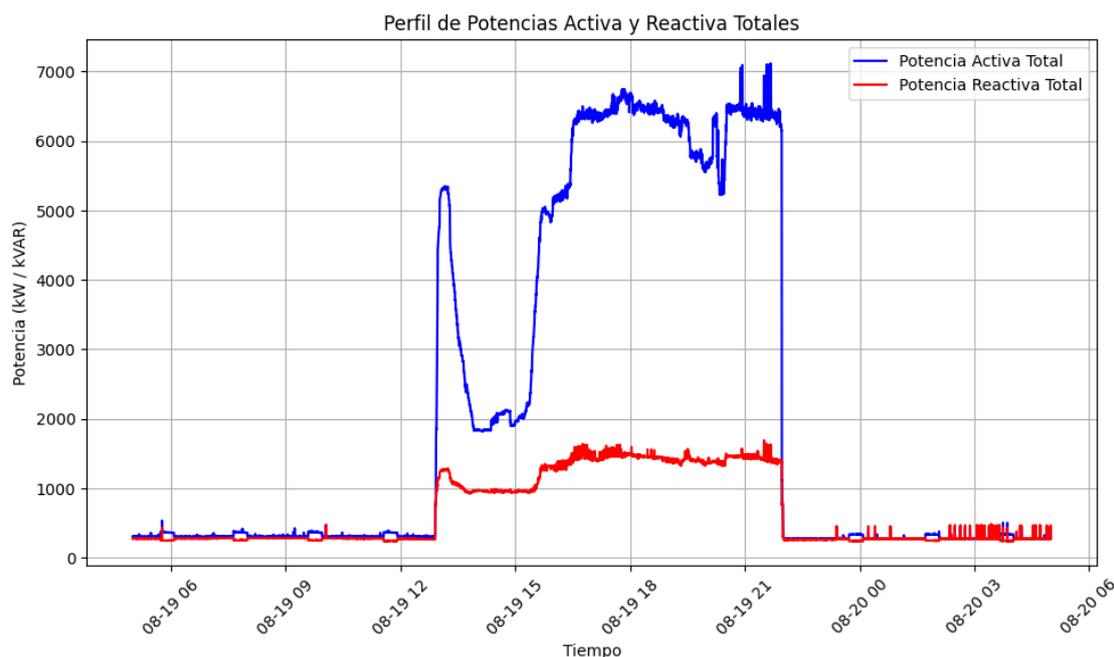
<b>Descripción de cargas</b>	<b>Potencia activa estimada [kW]</b>	<b>Potencia activa estimada [kVAr]</b>	<b>Cargas agrupadas</b>
Iluminación del Laboratorio de Sistemas Telemáticos	0.69	0.423	Iluminación
Tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos. - 6 computadoras	0.72	0.441	Computadoras 1
Iluminación del pasillo exterior y proyector.	0.25	0.153	Iluminación exterior y proyector
Tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos - 4 computadoras	0.48	0.294	Computadoras 2
Sobrecarga de tomas de corriente (110V) en el Laboratorio de Sistemas Telemáticos - 5 computadoras.	0.60	0.368	Computadoras 3 y 4
Aire acondicionado del laboratorio LAB006 (24 kBTU/h)	3.20	1.986	Aire acondicionado 1
Aire acondicionado del laboratorio LAB006 (24 kBTU/h)	3.20	1.986	Aire acondicionado 2

Los datos de la tabla muestran cómo se agrupan las cargas del laboratorio según su naturaleza y nivel de consumo energético, lo que facilita el análisis del método NILM; da manera que esta agrupación de datos permite identificar patrones de consumo específicos y diferenciar entre equipos de alto consumo, como el aire acondicionado, que registra una potencia activa de 3.20 kW y reactiva de 1.986 kVAr, y cargas menores, como la iluminación del pasillo exterior y el proyector, con 0.25 kW de potencia activa y 0.153 kVAr de potencia reactiva.

### 3.2. Análisis de Perfiles de Consumo de Potencia

Al obtener los datos de consumo energético de la plataforma hayiot, mediante el medidor shelly que sensa los datos del laboratorio de muestra, se pudo graficar los perfiles de consumo de potencia en un día laborable, en la cual se observaron todos los cambios de estado de potencia durante las horas de ocupación. En la figura 3.1 se presentan los registros diarios de consumo. En ellas es posible observar que alrededor de la muestra "08-19 12", que indica que son datos comprendidos en un periodo anterior o cercano del mediodía' la curva de potencia incrementa y va teniendo ciertas variaciones en el tiempo, sobre todo en la muestra "08-19-15", un horario cercano entre las 3 y 5 de la tarde, existe un gran decrecimiento del perfil de consumo hasta volver a incrementar progresivamente en el tiempo, donde su pico más elevado de P es casi finalizando la jornada laboral donde este decrece a menos de 1 kW. Por su parte la curva de  $Q_{total}$  muestra un patrón similar hasta finalizar la jornada. Posteriormente se observan picos intermitentes superiores a 400 VAR, lo que indica actividad residual o un comportamiento que refleja la operación de cargas inductivas dominantes como aires acondicionados cuya relación directa entre P y Q evidencia su impacto en la demanda energética total del sistema. Esta tendencia permite identificar patrones de consumo que son esenciales para optimizar la gestión de energía y reducir pérdidas en horas de menor demanda.

**Figura 3.1** Curva de potencias diarias de un día típico de consumo del laboratorio de muestra.



### 3.3. Desagregación de Carga mediante Clustering

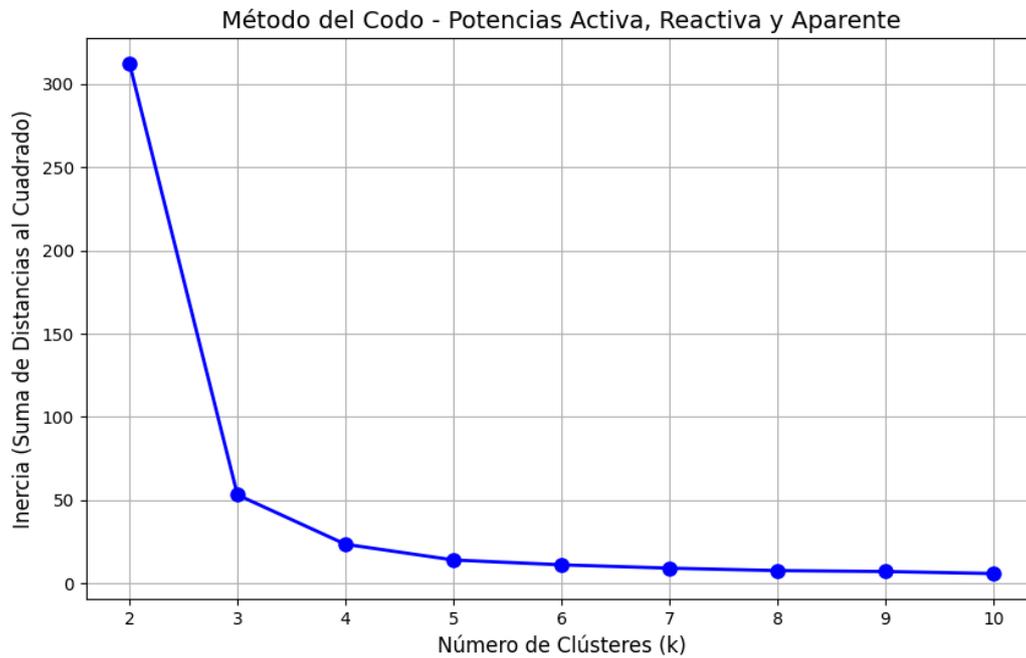
Luego del análisis de perfil de consumo de cargas en el laboratorio de muestra, se realizó la metodología propuesta para la desagregación de cargas y a su vez, realizar la planificación de políticas energéticas.

Dado el volumen de datos y la necesidad de identificar patrones significativos en los datos de consumo energético, se empleó el método de de K-means clustering, el cual permite agrupar datos con características similares en clusters que representan estados operativos específicos.

#### 3.3.1. Determinación de Número Óptimo de Clusters (Método del codo)

El primer paso fue determinar el valor óptimo de  $k$ , es decir, el número de clusters que representa de mejor manera los patrones de consumo en los datos. Para ello, se empleó el método del codo (elbow method), el cual evalúa la inercia o suma de las distancias cuadradas internos entre los puntos y sus centroides.

**Figura 3.2** Representación gráfica de número de clusters apropiados en método del codo.



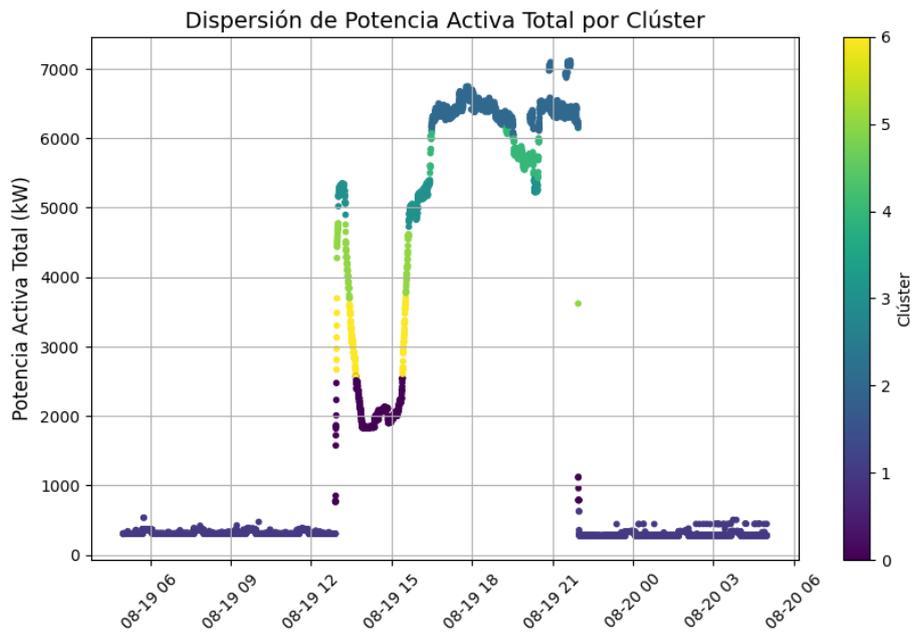
La figura 3.2 representa la gráfica resultante de aplicar el método del codo para la elección del número apropiado de clusters, en ella se observa una disminución pronunciada en la inercia al aumentar el número de clusters, hasta llegar a un punto de inflexión en  $k = 4$ , lo que indica un descenso más gradual de la inercia posterior a ese valor típico del “codo”. Sin embargo, para ajustar mejor la desagregación de carga en base a la tabla 2.1 se optó por escoger siete clusters, esto en base a que existen 8 tipos de carga estimada en el laboratorio (iluminación, computadoras, aires acondicionados, etc.), existen dos tipos de cargas de naturaleza similar, que fueron agrupadas en un mismo cluster.

### ***3.3.2. Representación y Etiquetado de Clusters***

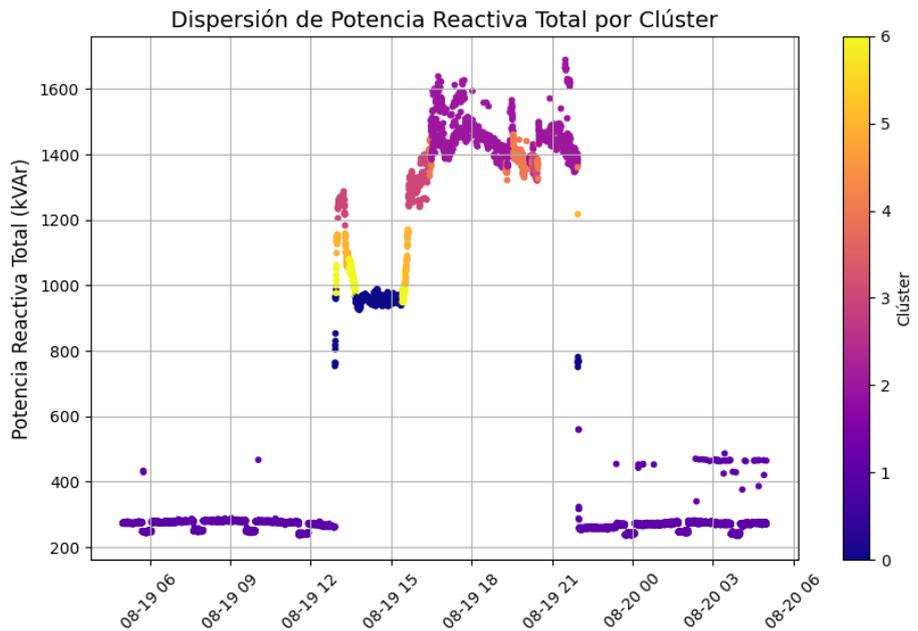
Una vez seleccionado los siete clusters, se realizó la programación para agrupar los datos usando el algoritmo de clustering k-means. Este proceso incluyó la implementación de un código en python que permitió la segmentación de las cargas en sus respectivos clusters basándose en su comportamiento energético. Una vez obtenido los clusters, se generaron tres diagramas de dispersión para representar visualmente cómo se distribuyen las cargas y qué patrones emergen entre ellas, cada uno representando un parámetro distinto, tales como potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

Esta diferenciación es esencial porque cada tipo de potencia proporciona una visión específica del comportamiento de las cargas dentro del laboratorio de muestra. El análisis mediante estos tres diagramas permite observar cómo se distribuyen las cargas de acuerdo con sus características específicas, como las computadoras y luces de emergencia, los aires acondicionados, o las luces de los pasillos. Al contar con gráficos separados para cada tipo de potencia, se puede identificar con mayor claridad los patrones de comportamiento energético de los diferentes tipos de carga del laboratorio, lo que facilita la interpretación de cómo interactúan entre sí.

**Figura 3.3** Gráfico de dispersión de potencia activa en k-means.



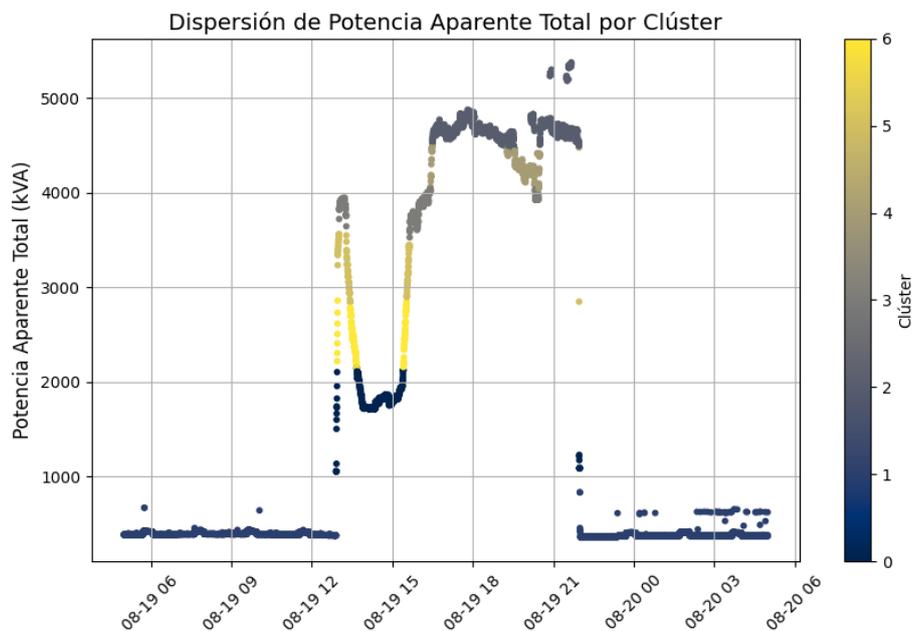
**Figura 3.4** Gráfico de dispersión de potencia reactiva en k-means.



La figura 3.3 muestra el diagrama de dispersión para P, en el cual se muestra cómo se distribuyen las cargas según su demanda energética. Los clusters con valores más elevados se relacionan con los aires acondicionados y computadoras, con valores de

5115.29 W y 6090.20 W, al ser equipos que operan de manera continua desde el inicio de la jornada académica. En contraste, al cluster con valor de 167.69 W, que muestra una potencia activa baja, que indica que estas cargas no están operando de manera intensiva, lo cual es esperado en cargas de baja demanda, especialmente cuando no están activas o se utilizan de manera esporádica en momentos de inactividad o bajo uso. Por su parte, la figura 3.4 representa el diagrama de dispersión de Q, en el cual los valores más altos en los clusters son comunes en equipos que generan cargas inductivas como aires acondicionados.

**Figura 3.5** Gráfico de dispersión de potencia aparente en k-means.



Por su parte, el diagrama de dispersión de S mostrado en la figura 3.5 se incluye para proporcionar una visión completa de la carga total en el sistema, considerando tanto la potencia activa como la reactiva. Aunque los diagramas de P y Q ya muestran el consumo de energía activa y reactiva por separado, S permite evaluar la demanda total del sistema, esencial para comprender cómo las cargas de alta demanda, como los aires acondicionados, afectan el consumo energético general. Esto ayuda a entender mejor la

capacidad del sistema y a optimizar la gestión de la energía. Estos valores obtenidos en k-means son detallados en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Identificación y asignación de cargas a cada clúster**

i	Tipo de Carga	Clúster elegido para P	Clúster elegido para Q	Clúster elegido para S
1	Computadoras 2	302.61	269.93	385.46
2	Computadoras 3 y 4	305.32	274.21	390.23
3	Iluminación exterior y proyector	3107.31	1014.47	2478.95
4	Aire acondicionado 1	6421.80	1452.11	4680.92
5	Iluminación	1989.93	1200.70	1800.97
6	Computadoras 1	4227.51	1101.85	3197.89
7	Aire acondicionado 2	5755.31	1383.63	4264.34

Los resultados obtenidos mediante el algoritmo k-means permitieron identificar de manera precisa los valores de potencia asociados a cada carga en el laboratorio, destacando los aires acondicionados con consumos de 5755.31 W y 4227.51 W. Estos valores elevados de potencia activa se reflejan en los diagramas de dispersión, donde los aires acondicionados aparecen como las cargas de mayor demanda. La Tabla 3.2 presenta detalles de las cargas críticas, con datos de potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S), lo que permite analizar de manera integral la demanda energética del sistema. Este análisis es fundamental para optimizar la gestión de la energía en el sistema y facilita la desagregación detallada de la curva de carga, contribuyendo a comprender mejor el comportamiento de cada equipo y a mejorar la eficiencia energética.

### **3.4. Desagregación con AMPL**

Una vez obtenidas las potencias totales y asignados sus respectivos clusters, se procede a la desagregación de las cargas en las curvas de potencia activa y reactiva utilizando programación en AMPL. Como se explicó en el capítulo 2, la falta de un ground truth con los datos de potencia de las cargas agrupadas puede afectar la precisión del modelo matemático propuesto. Ante esta limitación, se opta por asumir los valores de potencia total de cada muestra de un día específico como parte del ground truth. De tal manera que los clústers asignados a las cargas por potencia contribuyen a la desagregación, replicando un escenario real en el que no se dispone de estos valores específicos.

En la figura 3.6 se muestra una fracción de las potencias tabuladas del día seleccionado para el caso de estudio, en donde se muestran las potencias activas, reactivas y aparentes totales; dichos valores serán los mismo que tomará el ground truth para la desagregación. El modelo propuesto solo se enfocará usando desde la ecuación 2.4 hasta la ecuación 2.7.

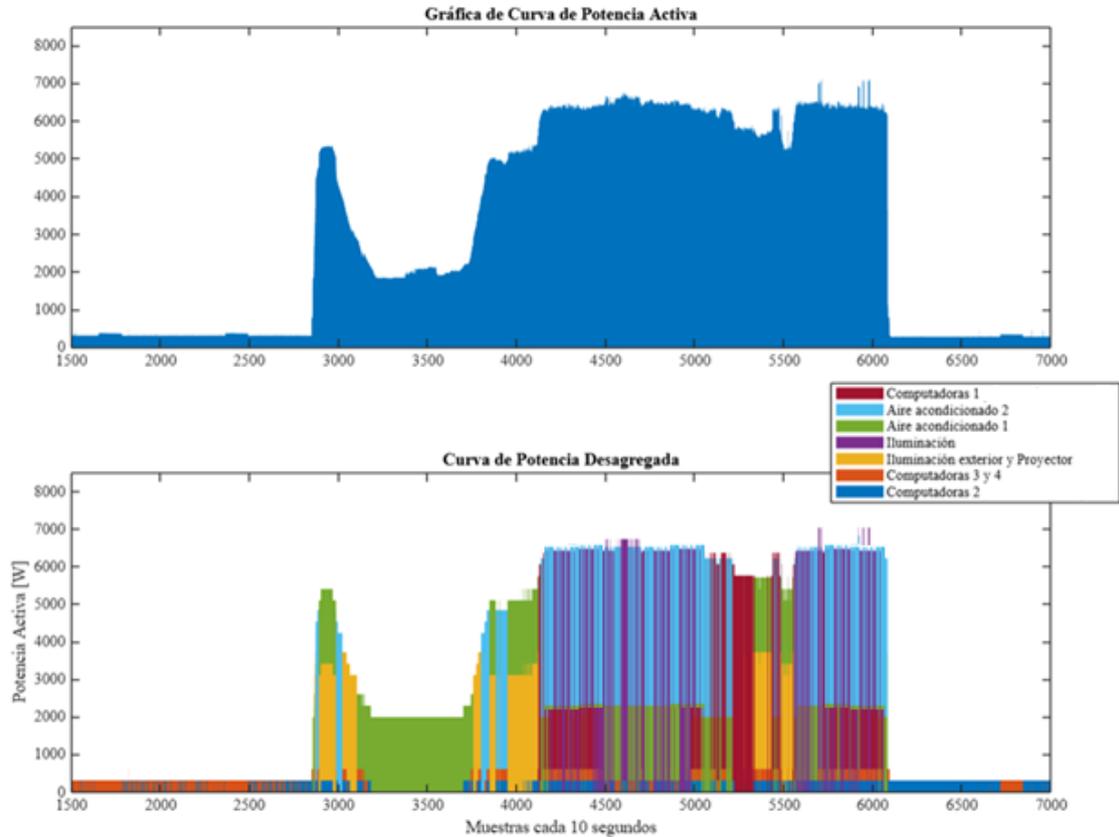
**Figura 3.6** Datos de potencias totales tabuladas en un día en específico

<b>sensedAt</b>	<b>Potencia_Activa_Total</b>	<b>Potencia_Reactiva_Total</b>	<b>Potencia_Aparente_Total</b>
2024-08-19T05:00:00	304.99	273.3861091	384.2174
2024-08-19T05:00:10	304.16	273.8386042	383.158
2024-08-19T05:00:20	305.85	275.2429645	385.5445
2024-08-19T05:00:30	305.01	272.6492443	383.1349
2024-08-19T05:00:40	307.43	272.0365523	385.2902
2024-08-19T05:00:50	298.35	272.3755692	379.346
2024-08-19T05:01:00	298.92	272.1810255	379.0751
2024-08-19T05:01:10	306.32	273.9784759	385.4128
2024-08-19T05:01:20	303.93	272.2599342	382.585
2024-08-19T05:01:30	305.06	274.0742733	384.9792
2024-08-19T05:01:40	304.87	274.0497217	385.1638
2024-08-19T05:01:50	304.65	273.9226581	384.7676
2024-08-19T05:02:00	304.18	274.2792447	383.8281
2024-08-19T05:02:10	309.03	275.4867951	388.9801

Dentro del entorno AMPL se asignaron las clusters de la tabla 3.2 de las cargas según su tipo de potencia, ya que esto serán los únicos datos que se cambian si se desea analizar cualquier otro día; lo único que se mantendrá como base son los datos de potencia totales para ese día en específico.

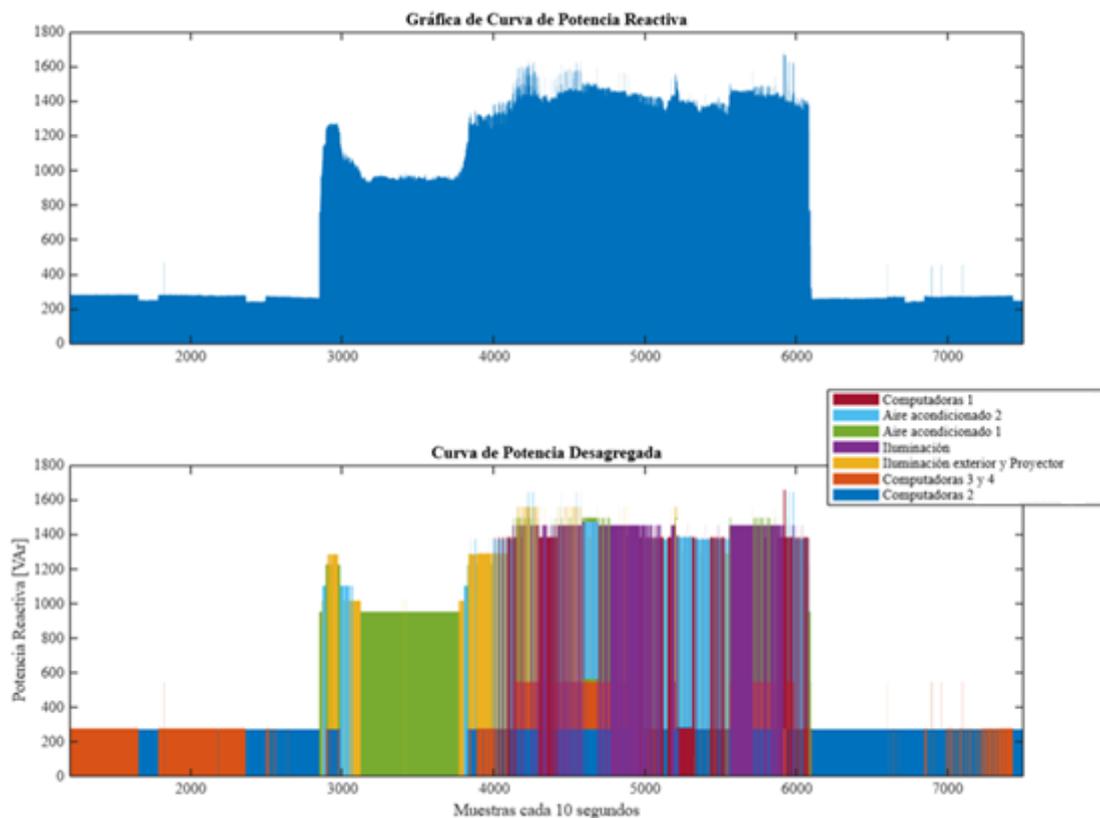
Mediante el uso de Matlab se permite la visualización de los resultados que simula la programación realizada en AMPL del modelo propuesto modificado, teniendo en cuenta que se hicieron los cambios necesarios para que el algoritmo muestra las curvas de potencia activa y reactiva desagregadas. Lo que se debe tener en cuenta es que se deben tener la misma cantidad de muestras tanto en el ingreso de datos de potencias en AMPL como en el ground truth, de lo contrario el código mostrará error al intentar simular. Para un mejor análisis se usaron todas las muestras de 10 segundos que proporciona la plataforma Hayiot, con el fin de tener una mejor identificación de las cargas que están teniendo un consumo durante horas no laborales y de cómo puede influir en los costos operativos del consumo energético.

**Figura 3.7** Gráfico de curva de potencia activa con su respectiva desagregación de cargas



En la figura 3.7 se observa la curva de potencia activa con su respectiva desagregación de cargas siguiendo los procesos descritos anteriormente, se puede notar claramente que los aires acondicionados están presentes en la mayor parte del consumo debido a que está encendido durante casi todo el tiempo, seguido del grupo de carga de computadoras 1 e iluminación del laboratorio. Mientras que el grupo de computadoras 2 estarán presentes durante casi todas las muestras debido a la funcionalidad de esta, o en el caso de las computadoras que pueden estar en modo de espera. Estos datos sugieren que se debe realizar una mejor política de uso de equipos necesarios para realizar labores respectivas, y evitar tener costos incrementales de consumo eléctrico.

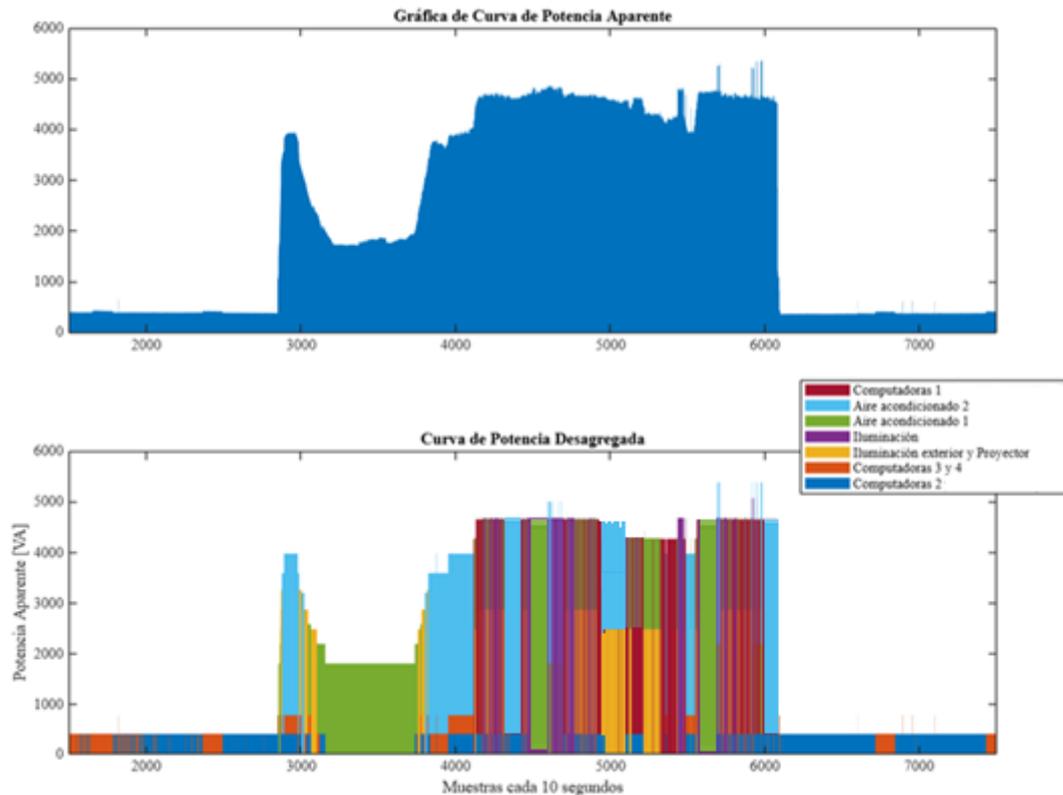
**Figura 3.8** Gráfico de curva de potencia reactiva con su respectiva desagregación de cargas



Por otro lado, en la figura 3.8, se tiene la curva de potencia reactiva desagregada, se puede evidenciar como aires acondicionados, iluminación y computadoras nuevamente tienen impacto en la curva de potencia reactiva. Los aires acondicionados, por ejemplo, son las cargas que están presentes en los picos en la curva por otro lado, las luces y proyectores también contribuyen; aunque en menor medida, especialmente cuando se encienden simultáneamente. Las computadoras y otros equipos electrónicos, aunque consumen menos, generan pequeñas contribuciones acumulativas. Identificar el impacto de cada equipo en la curva permite tomar decisiones más efectivas para gestionar la energía. Por ejemplo, se pueden establecer horarios escalonados para el encendido de los

aires acondicionados, usar sistemas de iluminación más eficientes o instalar baterías de compensación para corregir el factor de potencia.

**Figura 3.9** Gráfico de curva de potencia aparente con su respectiva desagregación de cargas



La inclusión de la potencia aparente en este análisis brinda una visión más completa del consumo eléctrico, al combinar las contribuciones de la potencia activa y reactiva. Por ejemplo, los aires acondicionados, que dominan en los picos de P y tienen un alto impacto en Q, también generan una alta demanda en S, lo que ayuda a entender mejor su carga total sobre el sistema eléctrico. Este enfoque permite identificar no solo qué dispositivos consumen más energía útil, sino también cuáles exigen mayor capacidad de la red, como iluminación o proyectores cuando se encienden simultáneamente. Además, evaluar S junto con P y Q facilita decisiones como escalonar el uso de equipos,

optimizar horarios de operación o implementar sistemas de compensación para corregir el factor de potencia, mejorando así la eficiencia energética de manera integral.

### **3.5. Propuestas de diseño de Políticas Energéticas en base a resultados NILM**

Los resultados obtenidos mediante metodología NILM permitió identificar patrones claros de consumo energético en el laboratorio de sistemas telemáticos, destacando aquellos equipos con un significativo impacto en la demanda energética. Estos resultados no sólo permiten brindar mejoras en la eficiencia en el uso de la energía, también sirven como base para diseñar un conjunto de políticas energéticas personalizadas que buscan maximizar la sostenibilidad y reducir los costos operativos mediante estrategias fundamentadas en el monitoreo detallado y en la gestión activa de los dispositivos de alto consumo, proponiendo un marco de acción que incluye compromisos institucionales y planificación eficiente.

#### ***3.5.1. Compromisos de Alta Dirección***

La FIEC, como parte de su responsabilidad en la gestión eficiente de los recursos, debe asumir compromisos claros para optimizar el uso de la energía en sus instalaciones. Esto no solo ayudará a reducir costos operativos, sino también a fortalecer su compromiso con la sostenibilidad y la innovación tecnológica. La alta dirección tiene el reto de liderar estos esfuerzos, asegurando la implementación de políticas energéticas efectivas, asignando los recursos necesarios y promoviendo una cultura de consumo responsable entre estudiantes, docentes y personal administrativo. Los compromisos asumidos son los siguientes:

### **3.5.1.1. *Gestión Eficiente de equipos de alto consumo***

1. Programar termostatos y horarios de operación ajustados a la ocupación para evitar el funcionamiento innecesario en función de actividades académicas.
2. Mantenimiento preventivo de equipos para mantener rendimiento óptimo del sistema que eviten fallas que incrementen consumo energético.
3. Sustituir equipos antiguos por modelos eficientes con tecnología inverter y sensores de ocupación.
4. Realizar auditorías energéticas periódicas para ajustar estrategias y garantizar la eficiencia en el uso de los equipos.

### **3.5.1.2. *Gestión Eficiente de equipos de consumo constante***

1. Configurar las computadoras para que se apaguen automáticamente o entren en modo de bajo consumo después de un período de inactividad, reduciendo el gasto energético sin afectar el rendimiento cuando es necesario.
2. Ajustar las configuraciones de energía según el tipo de tarea que se esté realizando. Así, las computadoras consumen solo la energía necesaria para cada actividad, optimizando recursos.
3. Realizar mantenimiento regular para garantizar que las computadoras funcionen de manera eficiente, evitando problemas que puedan aumentar el consumo energético innecesariamente.

### ***3.5.2. Planificación Energética***

La planificación de políticas energéticas implica la búsqueda de la eficiencia y la sostenibilidad dentro de cualquier organización. En este caso, se aprovecha la base metodológica de la Norma ISO 50001 y la información proporcionada por la metodología NILM (Non-Intrusive Load Monitoring), que permite desagregar y analizar en detalle las curvas de consumo eléctrico de los equipos más representativos del laboratorio. Este diagnóstico preliminar, conocido como revisión energética inicial, brinda la oportunidad de identificar, priorizar y caracterizar los usos de energía significativos, así como de establecer una línea base sólida que sirva de referencia para evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

En paralelo, la norma ISO 50001 introduce un ciclo de mejora continua que parte del análisis de la situación actual, seguido por la formulación de objetivos e indicadores de desempeño, la implantación de medidas correctivas o de optimización, y finalmente, el seguimiento y la verificación de resultados a lo largo del tiempo. Esta dinámica, también denominada PDCA (Plan-Do-Check-Act), asegura que cualquier política energética no sea un evento aislado, sino un proceso vivo que se ajusta constantemente a los cambios en la demanda, a los avances tecnológicos y a los requerimientos internos y externos de la institución. Para aquello se debe delimitar, de manera clara y precisa, el campo de acción de la política energética, así como los objetivos generales que se pretenden alcanzar con la planificación. Gracias al monitoreo de potencia activa y reactiva, respaldado por la metodología NILM, se obtiene una visión granular de cuáles equipos o procesos representan los mayores consumos y en qué momentos ocurren los picos de demanda.

### 3.5.2.1. *Objetivos e Indicadores de Desempeño Energético (EnPIs)*

Antes de desplegar cualquier acción, es fundamental definir objetivos claros que apunten a reducir el consumo energético y optimizar el factor de potencia. Estos objetivos deben ser medibles a través de indicadores de desempeño, permitiendo verificar periódicamente los avances.

**Tabla 3.3** Tabla para sintetizar los objetivos y sus EnPIs

Objetivo	Indicador (EnPI)	Meta	Periodo de evaluación
Reducir el consumo energético en un 15%	kWh/semana (comparado con la línea base)	-15%	Mensual
Mejorar el factor de potencia	Factor de potencia promedio	0.96	Trimestral
Disminuir los picos de potencia en horario punta	kW máximo en horario 9:00-17:00	-20%	Semanalmente
Optimizar el uso de equipos en horas no laborables	Número de equipos en stand-by/apagados	$\geq 90$ % apagados/inactivos	Mensual

En esta tabla, cada objetivo se vincula con un indicador y una meta específica, junto con la frecuencia recomendada para la evaluación. De esta manera, el personal responsable puede ajustar las acciones de manera oportuna si se detectan desviaciones.

### 3.5.2.2. *Acciones de Mejora y Estrategias de Implementación*

Una vez definidos los objetivos, se identifican las cargas críticas (aires acondicionados, iluminación, computadoras) y se proponen soluciones concretas. Cada acción prioriza la reducción de consumos aprovechando la información detallada que ofrecen las curvas de potencia activa y reactiva.

**Tabla 3.4** Acciones propuestas, su impacto y responsable principal

Acción	Descripción	Impacto Esperado	Responsable
Encendido escalonado de aires acondicionados	kWh/semana	Reducción de picos de demanda	Área de Mantenimiento
Sustitución de luminarias obsoletas por LED	Factor de potencia promedio	Disminución del consumo eléctrico y mejor calidad lumínica	Área de Mantenimiento
Instalación de baterías de condensadores	kW máximo en horario 9:00-17:00	Aumento del factor de potencia y reducción de sobrecostos	Área Eléctrica / Externo
Apagado automático de computadoras y proyectores	Número de equipos en stand-by/apagados	Ahorro significativo en cargas base y stand-by	Área de TI
Capacitación en eficiencia energética para el personal	Talleres y guías de buenas prácticas (uso racional de aire acondicionado, luces, computadoras).	Mayor participación del personal en acciones de ahorro	Área de Capacitación

### **3.5.2.3. Monitoreo y Seguimiento (Check y Act)**

La metodología NILM posibilita una supervisión continua de los consumos por cada equipo o grupo de cargas, facilitando la tarea de comparar la potencia activa y reactiva con los objetivos propuestos. Así, cada responsable puede generar reportes de consumo a intervalos regulares y presentarlos al Comité de Energía, que hará los ajustes pertinentes.

#### **1. Informe de Desempeño Periódico**

- Contrastar la curva de potencia real con la línea base.
- Verificar la evolución de los EnPIs definidos (kWh, factor de potencia, picos de demanda, etc.).
- Documentar las mejoras conseguidas y las incidencias detectadas.

#### **2. Evaluación y Retroalimentación**

- Si surgen desviaciones (por ejemplo, persistencia de picos inesperados), se revisan y actualizan las medidas correspondientes.
- Cualquier hallazgo relevante (unidades de aire acondicionado con fallos, nuevas cargas imprevistas) se comunica al área responsable para su rápida resolución.

Este plan de políticas energéticas está diseñado para ofrecer una visión integral que abarque objetivos claros, acciones de mejora específicas y una definición de roles que garantice la ejecución de cada tarea. La metodología NILM brinda la precisión necesaria para detectar los consumos más importantes y evaluar, en tiempo real o casi real, el impacto de cada intervención. La ejecución de estas acciones, sumada a un seguimiento continuo y transparente, sienta las bases para una cultura de eficiencia energética que puede sostenerse a largo plazo, alineándose con los principios de la Norma ISO 50001 y la mejora continua.

### 3.6. Análisis Financiero

El análisis financiero de este proyecto se enfoca en evaluar los costos asociados a la implementación de un sistema de monitoreo energético basado en la metodología NILM (Non-Intrusive Load Monitoring). Este enfoque aprovecha infraestructura ya existente y elimina la necesidad de dispositivos adicionales, como medidores inteligentes individuales, para lograr una desagregación precisa de las cargas. A continuación, se presenta el desglose de los costos iniciales, costos operativos, beneficios proyectados y retorno de inversión

#### 3.6.1. Costos iniciales

**Tabla 3.5** Datos de inversión inicial

Componente	Descripción	Cantidad	Costo	Costo
			Unitario	Total
			(USD)	(USD)
Infraestructura computacional	Uso de computadoras ya existentes en el laboratorio.	N/A	0	0
Desarrollo del algoritmo	Diseño e implementación del código en Python y AMPL.	N/A	500	500
Elaboración del informe final	Preparación y presentación de resultados técnicos.	N/A	100	100

**Inversión inicial total:** \$600 USD.

El uso de infraestructura existente reduce significativamente los costos iniciales. El desarrollo del algoritmo incluye la adaptación de herramientas y códigos preexistentes, optimizando los recursos. El costo del informe final cubre materiales y recursos para documentar los resultados.

### 3.6.2. Costos de Operación y Mantenimiento

**Tabla 3.6** Datos de costos operativos anuales

Concepto	Descripción	Frecuencia	Costo Total (USD)
Soporte técnico	Resolución de problemas técnicos en el sistema de monitoreo.	Anual	300
Actualización del algoritmo	Mejoras continuas para desagregar nuevas cargas o adaptar el sistema.	Anual	200

**Costo operativo anual total:** \$500 USD.

Los costos operativos son bajos y sostenibles, considerando que el sistema no requiere mantenimiento físico ni reemplazo de dispositivos. Las actualizaciones periódicas garantizan que el algoritmo se mantenga efectivo frente a cambios en las cargas monitoreadas.

### 3.6.3. Beneficios Proyectados

**Tabla 3.7** Datos de beneficios económicos proyectados

Concepto	Descripción	Costo Total (USD)
Reducción del consumo energético	Ahorro estimado del 15% del consumo anual del laboratorio.	1125
Optimización del factor de potencia	Mejora operativa y reducción de penalizaciones eléctricas.	300

**Beneficio anual total estimado:** \$1,425 USD.

El algoritmo NILM identifica patrones de consumo que permiten reducir ineficiencias y optimizar el uso de energía. La mejora en el factor de potencia contribuye a reducir costos indirectos asociados a la ineficiencia energética.

### 3.6.4. Flujo de Caja

**Tabla 3.8** Flujo de caja de proyecto

Año	0	1	2	3	4	5
(USD)	0	925	949	973	998	1023

### 3.6.5. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -600 + \frac{925}{(1+i)} + \frac{949}{(1+i)^2} + \frac{973}{(1+i)^3} + \frac{998}{(1+i)^4} + \frac{1023}{(1+i)^5}$$

$$VAN = -600 + \frac{925}{(1+0.1)} + \frac{949}{(1+0.1)^2} + \frac{973}{(1+0.1)^3} + \frac{998}{(1+0.1)^4} + \frac{1023}{(1+0.1)^5}$$

$$VAN = \$3073.32$$

### 3.6.5. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = -600 + \frac{925}{(1+i)} + \frac{949}{(1+i)^2} + \frac{973}{(1+i)^3} + \frac{998}{(1+i)^4} + \frac{1023}{(1+i)^5}$$

$$i = 83.8\% > 10\%$$

### 3.6.6. Cálculo de Payback

**Tabla 3.9** Datos de payback a 5 años

Año	Flujo Neto	Flujo Ajustado	Flujo Acumulado
0	-600		-600
1	925	840.91	240.91
2	949	784.30	1025.21
3	973	731.03	1756.24
4	998	681.65	2437.89
5	1023	635.20	3073.09

$$Payback = 0 + \frac{|-600|}{840.91} = 0.71 \text{ años}$$

## Capítulo 4

#### **4.1. Conclusiones**

- La creación de una línea base energética en el laboratorio de sistemas telemáticos permitió identificar patrones específicos de consumo mediante la desagregación de cargas individuales. Este enfoque, adaptable a entornos con acceso limitado a datos o restricciones de confidencialidad, proporciona una herramienta fundamental para evaluar y optimizar el desempeño energético en organizaciones sensibles.
- La implementación de técnicas NILM en contextos prácticos, donde no se dispone de datos desagregados detallados, demostró ser viable gracias al uso de algoritmos de aprendizaje automático. Estas herramientas permitieron identificar estados de consumo energético y superar los desafíos inherentes a la disponibilidad limitada de información.
- La combinación de medidores inteligentes, plataformas de monitoreo y la técnica NILM brindó un análisis profundo de los patrones de consumo energético en función de actividades y horarios específicos. Esta integración facilita decisiones basadas en datos que optimizan la eficiencia energética y permiten diseñar estrategias adaptadas a las características de cada espacio.
- El diseño de políticas energéticas en función de la norma ISO 50001 garantizó un enfoque estructurado y continuo para la mejora del consumo energético. La incorporación de NILM en este marco permitió identificar cargas críticas y establecer políticas energéticas personalizadas, fomentando sostenibilidad y eficiencia en el laboratorio de sistemas telemáticos.

## 4.2. Recomendaciones

- Establecer objetivos claros basados en la línea base energética, como la reducción del consumo total en un porcentaje definido o la mejora del factor de potencia. Utilizar indicadores clave de rendimiento (EnPIs) para evaluar periódicamente el avance y ajustar estrategias según sea necesario.
- Crear canales para compartir los resultados y beneficios de la norma ISO 50001 con toda la comunidad universitaria. La transparencia incentivará el compromiso con el uso responsable de la energía y facilitará la implementación de nuevas políticas.
- La adopción de medidas tecnológicas y operativas es esencial para optimizar el consumo energético en el laboratorio. Esto incluye la instalación de sistemas automáticos de apagado que minimicen el uso de energía durante horarios no laborales, asegurando que los equipos no permanezcan encendidos innecesariamente. Además, se recomienda sustituir los dispositivos obsoletos por tecnologías más eficientes, como iluminación LED y equipos con tecnología inverter, que ofrecen un menor consumo y mayor rendimiento. Finalmente, la implementación de baterías de condensadores contribuirá a mejorar el factor de potencia, reduciendo picos de demanda y promoviendo un uso más equilibrado de los recursos eléctricos.
- Extender la metodología NILM y las estrategias de sostenibilidad energética a otros espacios del campus universitario. Esto permitirá maximizar los beneficios de la gestión energética y establecer un modelo de sostenibilidad replicable en diferentes instituciones.

## Referencias

- [1] CENACE, “Informe de Rendición de Cuentas”, Operador Nacional de Electricidad, Quito, Ecuador, Rep. 2023.
- [2] UNIDO. (2005). Module12: *Energy Efficiency Technologies and Benefits*, Sustainable Energy Regulation and Policy-Making Training Manual. [PDF]. Disponible en: Layout
- [3] Schneider Electric, "Difference between Active Power, Reactive Power, and Apparent Power," [Online]. Disponible en: [https://eshop.se.com/in/blog/post/difference-between-active-power-reactive-power-and-apparent-power.html?srltid=AfmBOoozZ-1K8ZakGun8\\_Ggzazgf7EM3mu3-fkktW2377Nl\\_sCBmn](https://eshop.se.com/in/blog/post/difference-between-active-power-reactive-power-and-apparent-power.html?srltid=AfmBOoozZ-1K8ZakGun8_Ggzazgf7EM3mu3-fkktW2377Nl_sCBmn).
- [4] testbook, "Active Power," [Online]. Disponible en: <https://testbook.com/electrical-engineering/active-power>.
- [5] EE Power, "Transformer Power Ratings," [Online]. Disponible en: <https://eepower.com/technical-articles/transformer-power-ratings/#>.
- [6] A. Zoha, A. Gluhak, M. A. Imran, y S. Rajasegarar, “Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey,” *Sensors*, vol. 12, pp. 16838–16866, dic. 2012
- [7] A. Wójcik, R. Lukaszewski, R. Kowalik, y W. Winiński, “Nonintrusive Appliance Load Monitoring: An Overview, Laboratory Test Results and Research Directions,” *Sensors*, vol. 19, pp. 16838–16866, ago. 2019
- [8] L. A. Pesantes Ocampo, “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),” Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2024

[9] F. M. Wittmann, “Optimización aplicada al monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas residenciales,” Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Eléctrica y de Computación, Univ. Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2017.

[10] SAP. (2023, agosto). SAP Integrated Business Planning for Supply Chain [Online]. Disponible en: [https://help.sap.com/docs/SAP\\_INTEGRATED\\_BUSINESS\\_PLANNING/feae3cea3cc549aaa9d9de7d363a83e6/010beb7d7d6d47828201054d003fa57c.html?locale=es-ES&version=2308](https://help.sap.com/docs/SAP_INTEGRATED_BUSINESS_PLANNING/feae3cea3cc549aaa9d9de7d363a83e6/010beb7d7d6d47828201054d003fa57c.html?locale=es-ES&version=2308)

[11] Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). “Guía de buenas prácticas para el diseño, evaluación y monitoreo de programas y proyectos de eficiencia energética en América Latina y el Caribe,” Quito, Ecuador, Informe Técnico CG00912, 2006. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00912.pdf>

[12] International Organization for Standardization. ISO 50001:2011. Energy management systems—Requirements with guidance for use, 1st ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2011. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es>

[13] F. Marimon y M. Casadesús, “Reasons to adopt ISO 50001 Energy Management System,” *Sustainability*, vol. 9, no. 10, pp. 1-15, septiembre 2017.

[14] BSI Standards Publication, *BS EN ISO 50001:2011 Energy management systems—Requirements with guidance for use*. London, United Kingdom: BSI, 2011.

[15] NQA, “ISO 50001:2018 Energy Management System Implementation Guide,” NQA, Reino Unido, 2018.