

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**SISTEMA DE MONITOREO Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE  
ACONDICIONADORES DE AIRE MEDIANTE APLICACIÓN MÓVIL**

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electrónica y Automatización**

Presentado por:

Paul Edward Macías Jara

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

A mis padres, Miguel Eduardo Macías Troncoso y Violeta Jackeline Jara Niveló, quienes han sido el faro que ha iluminado mi camino. Gracias por su constante apoyo, por creer en mí cuando la incertidumbre me acompañaba y por estar siempre a mi lado, brindándome amor y sabiduría en cada paso. Este logro es el reflejo de su esfuerzo y dedicación, y les dedico con todo mi corazón este triunfo.

# Agradecimientos

---

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Miguel Eduardo Macías Troncoso y Violeta Jackeline Jara Niveló, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser el pilar fundamental de todo este proceso. Sin su presencia y guía, este logro no habría sido posible.

Mi gratitud también va dirigida a Dios, por darme fortaleza, sabiduría y paciencia durante este camino.

Agradezco de manera especial al Ph.D. Carlos Salazar y al MSc. Dennys Cortez, quienes, con su valiosa orientación y dedicación, han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto. A cada uno de ustedes, muchas gracias por ser parte de este importante logro.

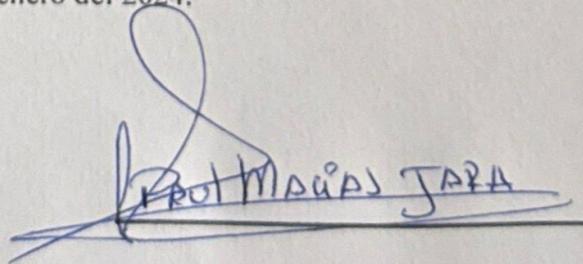
Yo Paul Edward Macías Jara acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales 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 mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor 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, 27 de enero del 2024.

  
PAUL EDUARDO MACÍAS JARA

# **Evaluadores**

---

MSc. Dennys Cortez

---

Ph.D. Carlos Salazar

## Resumen

En Ecuador, la creciente demanda de aires acondicionados ha incrementado el consumo energético, generando impactos económicos y ambientales significativos. A pesar de los avances en regulaciones para mejorar la eficiencia energética, persiste la necesidad de soluciones tecnológicas que permitan un monitoreo efectivo en tiempo real, especialmente en el sector residencial e industrial. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema inteligente de monitoreo y mantenimiento predictivo para aires acondicionados, capaz de registrar el consumo energético, calcular los costos en tiempo real y predecir posibles fallas a través de machine learning.

La solución propuesta incluirá una plataforma en la nube para monitorear el consumo de energía y su costo, junto con una aplicación móvil para visualizar estos datos en tiempo real y recibir alertas sobre comportamientos anómalos o picos de demanda. Este sistema no solo permitirá mejorar la eficiencia energética, sino también reducir los costos operativos y prevenir posibles fallas en los equipos, como se evidenció en la empresa TIA, donde los apagones y las fluctuaciones de voltaje han aumentado los costos de mantenimiento y el riesgo de fallos en el sistema de climatización.

Este desarrollo contribuirá al ahorro energético, mejorará la competitividad de las empresas al optimizar el uso de la energía y facilitará la sostenibilidad ambiental, apoyando así los esfuerzos de Ecuador por alinearse con las normas internacionales de eficiencia energética. Además, permitirá una gestión más eficaz del consumo eléctrico, beneficiando tanto a las empresas como a los consumidores en el contexto de un mercado energético cada vez más demandante.

**Palabras clave:** Monitoreo energético, eficiencia energética, mantenimiento predictivo.

## **Abstract**

In Ecuador, the growing demand for air conditioners has increased energy consumption, generating significant economic and environmental impacts. Despite advancements in regulations aimed at improving energy efficiency, there is still a need for technological solutions that enable effective real-time monitoring, particularly in the residential and industrial sectors. This project aims to develop an intelligent monitoring and predictive maintenance system for air conditioners, capable of recording energy consumption, calculating real-time costs, and predicting potential failures through machine learning.

The proposed solution will include a cloud-based platform to monitor energy consumption and its costs, along with a mobile application to visualize this data in real time and receive alerts about abnormal behaviors or demand spikes. This system will not only improve energy efficiency but also reduce operating costs and prevent potential equipment failures, as evidenced by TIA company, where power outages and voltage fluctuations have increased maintenance costs and the risk of system failures in their air conditioning system.

This development will contribute to energy savings, improve the competitiveness of companies by optimizing energy use, and facilitate environmental sustainability, thus supporting Ecuador's efforts to align with international energy efficiency standards. Additionally, it will enable more efficient management of electricity consumption, benefiting both businesses and consumers in the context of an increasingly demanding energy market.

**Keywords:** Energy monitoring, energy efficiency, predictive maintenance.

## ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
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    Marco teórico.....	14
1.4.1    Sistema de climatización .....	14
1.4.2    Aspectos técnicos .....	18
1.5    Estado del arte .....	22
Capítulo 2.....	24
2.    Metodología.....	24
2.1    Alternativas de solución. ....	24
2.1.1    Criterios de selección .....	25
2.1.2    Evaluación de los criterios de selección.....	26
2.1.3    Puntuación de los criterios de selección.....	27
2.2    Proceso del diseño .....	29
2.2.1    Requerimientos para el diseño del prototipo.....	30
2.2.2    Dimensionamiento de la Fuente de Alimentación para el Sistema .....	34
2.2.3    Selección de la fuente de alimentación .....	35
2.3    Análisis del software .....	35

2.3.1	Selección de base de datos .....	36
2.3.2	Desarrollo e Integración de Machine Learning.....	37
2.3.3	Desarrollo de un Modelo de Predicción para Picos y Caídas de Voltaje.....	38
2.3.4	Desarrollo de un modelo de predicción para consumo energético.....	39
Capítulo 3.....		42
3.	Resultados y análisis.....	42
3.1	Diseño del sistema físico .....	42
3.2	Diseño de Software.....	43
3.2.1	Diseño de la base de datos.....	43
3.2.2	Conexión a la base de datos .....	44
3.3	Desarrollo de la aplicación móvil.....	45
3.3.1	Ventana de inicio de sesión.....	46
3.3.2	Servicios de la aplicación móvil.....	47
3.3.3	Ventana de consumo actual.....	48
3.3.4	Ventana de consumo histórico .....	50
3.3.5	Ventanas de Análisis Predictivo.....	51
3.3.6	Ventana de sistema de alarmas.....	54
3.4	Análisis de costos .....	55
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	59
4.1	Conclusiones.....	59
4.2	Recomendaciones .....	60
Referencias.....		61
Apéndices.....		63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Ponderación de los criterios de selección.....	27
<b>Tabla 2</b>	Puntuación de propuestas de soluciones.....	28
<b>Tabla 3</b>	Evaluación de soluciones propuestas.....	28
<b>Tabla 4</b>	Plataformas con servicio a la nube.....	36
<b>Tabla 5</b>	Costo de materiales del componente físico.....	55
<b>Tabla 6</b>	Costo de materiales de componentes electrónicos.....	56
<b>Tabla 7</b>	Costo total de todos los componentes.....	57
<b>Tabla 8</b>	Costo de mantenimiento anual.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Grafica de consumo energético en centros comerciales.....	15
<b>Figura 2</b>	Diagrama de Flujo del proceso de funcionamiento de aire acondicionado .....	15
<b>Figura 3</b>	Grafica de barras de consumo energético .....	16
<b>Figura 4</b>	Modelo del microcontrolador ESP32.....	19
<b>Figura 5</b>	Pines del ESP32.....	20
<b>Figura 6</b>	Especificaciones técnicas del ESP32.....	21
<b>Figura 7</b>	Diagrama metodológico.....	29
<b>Figura 8</b>	Diagrama de flujo del proyecto.....	31
<b>Figura 9</b>	Sensor de corriente .....	32
<b>Figura 10</b>	Sensor de voltaje.....	33
<b>Figura 11</b>	Logo de TensorFlow .....	37
<b>Figura 12</b>	Graficas de predicción de picos y caídas de voltaje .....	39
<b>Figura 13</b>	Gráfico de predicción de temperatura y consumo .....	41
<b>Figura 14</b>	Diseño de la base de datos.....	43
<b>Figura 15</b>	Prueba de conexión y envío de datos.....	45
<b>Figura 16</b>	Logo de la aplicación móvil.....	46
<b>Figura 17</b>	Registro e inicio de sesión .....	47
<b>Figura 18</b>	Servicios para el operador .....	48
<b>Figura 19</b>	Ventana de consumo actual.....	49
<b>Figura 20</b>	Ventana de consumo histórico.....	50
<b>Figura 21</b>	Ventana de análisis predictivo, picos y caídas de voltaje.....	52
<b>Figura 22</b>	Ventana de análisis predictivo de consumo.....	53
<b>Figura 23</b>	Registro de alarmas.....	54

## ABREVIATURAS

<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>IOT</b>	Internet of Things (Internet de las cosas)
<b>ESP32</b>	Espressif Systems 32 bits
<b>APP</b>	Application (Aplicación)
<b>GPIO</b>	General Purpose Input (Entrada/salida de propósito general)
<b>Json</b>	JavaScript Object Notation (Notación de Objetos de JavaScript)
<b>Keras</b>	Biblioteca con nombre propio
<b>TFlite</b>	TensorFlow Lite
<b>UTC</b>	Coordinated Universal Time (Tiempo Universal Coordinado)
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertexto)
<b>WI-FI</b>	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)

## SIMBOLOGÍA

<b>Cm</b>	Centímetro
<b>Mhz</b>	Megahertz
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>C++</b>	Lenguaje de programación
<b>A</b>	Amperios
<b>V</b>	Voltaje
<b>Ω</b>	Ohmios
<b>I</b>	Intensidad de corriente
<b>P</b>	Potencia
<b>W</b>	Watts
<b>Kg</b>	kilogramos



# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de aires acondicionados en Ecuador ha generado preocupación por el aumento en el consumo energético y sus impactos tanto económicos como ambientales. Según un informe de 2023, la implementación de normas de rendimiento energético mínimo para aires acondicionados busca mitigar estos efectos, optimizando la eficiencia en el consumo de energía y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Wilson, 2023). Esta iniciativa tiene el potencial de generar importantes ahorros en los costos energéticos del país y de los consumidores.

A pesar de estos avances regulatorios, persiste la necesidad de sistemas inteligentes que permitan monitorear el consumo energético en tiempo real. Un estudio enfocado en países en vías de desarrollo destaca la importancia de soluciones tecnológicas que mejoren la eficiencia energética en el sector residencial, especialmente en el uso de aires acondicionados, que representan una parte significativa del consumo eléctrico en estas regiones.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema de monitoreo y análisis del consumo energético de aires acondicionados mediante una aplicación móvil. Esta solución permitirá a los usuarios visualizar en tiempo real los patrones de consumo, identificar picos de demanda, y calcular los costos energéticos asociados, mejorando así la eficiencia y reduciendo gastos innecesarios. Este tipo de tecnologías no solo contribuyen al ahorro energético, sino que también apoyan los esfuerzos del país por cumplir con los estándares internacionales de eficiencia y sostenibilidad energética (Edward G. Pita, 2001)

## **1.1 Descripción del Problema**

La empresa cliente, localizada en la ciudad de Guayaquil ha enfrentado problemas recurrentes con los aires acondicionados de su sistema de climatización, los cuales son esenciales para el correcto funcionamiento de sus instalaciones. Según el operador encargado, estos problemas se han intensificado en los últimos meses debido a las subidas y caídas de voltaje provocadas por apagones frecuentes en la zona. Estos cortes de energía no solo están afectando el rendimiento de los equipos, sino que también están generando altos costos de mantenimiento y potencialmente aumentando el riesgo de fallas permanentes en el sistema.

Además, se espera que los apagones continúen en los próximos meses, lo que hace que la situación sea crítica. Actualmente, la empresa no cuenta con un sistema de monitoreo en tiempo real que permita detectar picos de consumo o anomalías en el funcionamiento de los aires acondicionados. Esto limita la capacidad del operador para intervenir de manera proactiva y ajustar el uso de los equipos a fin de mejorar la eficiencia energética.

La falta de un monitoreo adecuado también impide que la empresa identifique patrones de uso que podrían optimizar el consumo eléctrico y reducir costos. Se estima que, si se implementa un sistema inteligente de monitoreo y análisis en tiempo real, la empresa cliente podría no solo prevenir posibles daños adicionales a sus equipos, sino también optimizar el uso energético en cada una de sus instalaciones a lo largo del país reduciendo considerablemente el impacto económico causado por las fallas y las ineficiencias actuales.

Ante esta situación, es urgente la implementación de un sistema de monitoreo continuo que permita al operador encargado tener una visión clara del estado de los aires acondicionados, detectar picos de consumo, y analizar el comportamiento energético a lo largo del tiempo. Un sistema que envíe datos a una aplicación móvil facilitaría la toma de decisiones informadas,

permitiendo ajustes en tiempo real y asegurando la eficiencia energética que la empresa requiere para mantener sus operaciones sin interrupciones prolongadas o costosas.

## **1.2 Justificación del Problema**

La eficiencia energética es un aspecto crítico en la operación de empresas que utilizan aires acondicionados, ya que estos equipos son responsables de una parte significativa del consumo eléctrico (Márquez, 2010). En el contexto de Ecuador, la necesidad de optimizar el uso de la energía se vuelve aún más relevante debido a los constantes problemas de suministro eléctrico y los altos costos asociados. La falta de un sistema de monitoreo continuo limita la identificación de patrones de consumo y la implementación de estrategias de ahorro, lo que podría resultar en un gasto excesivo en electricidad y un impacto negativo en la rentabilidad de la empresa (Duran, 2025).

Por ejemplo, un estudio de la Asociación Ecuatoriana de Empresas de Energía (AEE) indica que el sector industrial puede reducir sus costos de energía hasta en un 30% mediante la implementación de tecnologías de monitoreo y gestión energética (AEE, 2023). Sin embargo, muchas empresas, incluidas instituciones como TIA, todavía dependen de métodos tradicionales y manuales para controlar el consumo energético de sus aires acondicionados. Esto no solo genera un desconocimiento sobre el consumo real y los costos asociados, sino que también puede ser una señal de fallas tempranas en los equipos.

El caso de la empresa TIA es un claro ejemplo de estas ineficiencias. La falta de un sistema inteligente para monitorear el consumo y detectar posibles anomalías podría llevar a un aumento en los costos operativos y la necesidad de reparaciones más frecuentes. (Naturales, 2011).

La implementación de un sistema inteligente que registre el consumo energético, calcule el costo en tiempo real y prediga posibles anomalías en el voltaje de entrada mediante el uso de machine learning es, por tanto, no solo una mejora técnica, sino una necesidad estratégica. Al hacerlo, la empresa no solo optimizaría su uso de energía y reduciría costos, sino que también

podría mejorar la sostenibilidad de sus operaciones, un objetivo clave en el marco de los compromisos ambientales actuales (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2024).

La transición hacia un sistema de monitoreo inteligente representa una oportunidad para que las empresas ecuatorianas se alineen con las tendencias globales de eficiencia energética y sostenibilidad, asegurando su competitividad en el mercado actual y futuro (Quito, 2024).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema inteligente de monitoreo y mantenimiento predictivo para aires acondicionados, que permita registrar el consumo energético, calcular el costo en tiempo real, predecir posibles fallas utilizando machine learning y optimizar el ahorro de energía, accesible a través de una aplicación móvil.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Implementar un sistema en la nube para registrar y monitorear el consumo energético de los aires acondicionados, calculando automáticamente el costo según la tarifa eléctrica vigente.
2. Desarrollar una aplicación móvil que permita visualizar gráficos de consumo y costos en tiempo real, así como recibir alertas de comportamientos anómalos.
3. Diseñar un sistema de alertas y recomendaciones basadas en el análisis de datos históricos, mejorando la eficiencia energética y fomentando el ahorro.

## **1.4 Marco teórico**

Las siguientes secciones proporcionarán una visión general sobre el uso de aires acondicionados en empresas ecuatorianas, destacando la importancia del monitoreo del consumo energético. Se abordará la relevancia de la eficiencia energética en un contexto de altos costos eléctricos y cortes de energía frecuentes. También se presentarán los aspectos técnicos necesarios para implementar un sistema inteligente que permita el seguimiento del consumo y la identificación de anomalías en tiempo real. Por último, se examinará el mercado actual, evaluando las ventajas competitivas de soluciones similares, lo que ayudará a contextualizar la propuesta del proyecto.

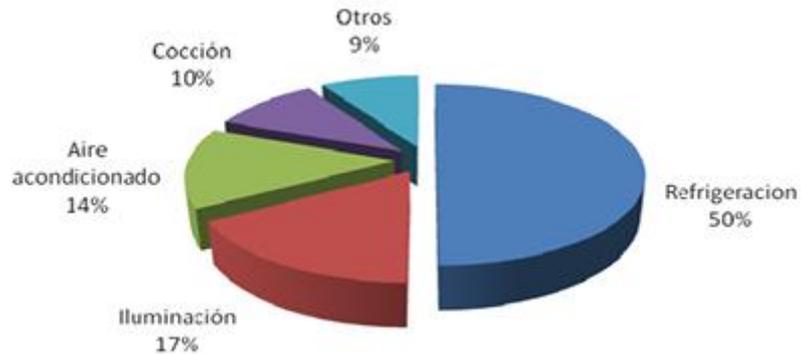
### **1.4.1 Sistema de climatización**

Un sistema de climatización es un conjunto de equipos diseñado para controlar el clima interior, regulando temperatura, humedad y calidad del aire. Incluye calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), y es esencial para mantener condiciones cómodas y saludables en edificios residenciales y comerciales. Estos sistemas son particularmente críticos en lugares que almacenan productos sensibles a la temperatura, como alimentos y medicamentos, ayudando a prevenir su deterioro.

La automatización de estos sistemas permite ajustes en tiempo real, mejorando la comodidad y reduciendo costos operativos. Con el uso de tecnología inteligente, los sistemas de climatización no solo optimizan el consumo energético, sino que también disminuyen el impacto ambiental asociado al consumo eléctrico.

**Figura 1**

*Grafica de consumo energético en centros comerciales*



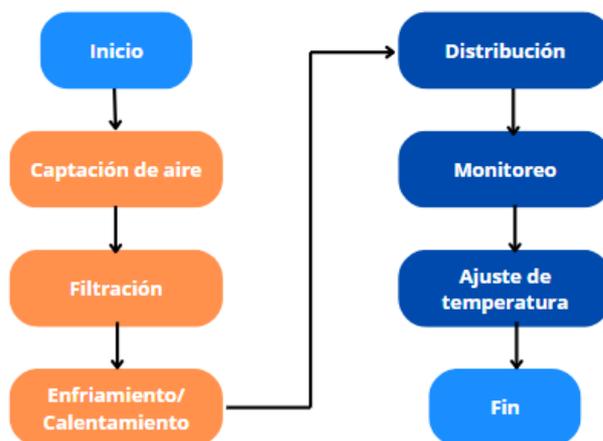
*Nota:* Distribución del consumo energético en la empresa TIA (Tia, 2022)

La Figura 1 muestra el consumo eléctrico típico de una empresa con características similares a las de la empresa cliente, se puede observar que luego de la refrigeración y la iluminación, el sistema de climatización es el que más consumo tiene, por ende, se puede comprobar con facilidad que es un sistema cuyo monitoreo es indispensable.

- **Proceso de funcionamiento de un aire acondicionado**

**Figura 2**

*Diagrama de Flujo del proceso de funcionamiento de aire acondicionado*



*Nota:* La figura muestra el flujo de trabajo en un aire acondicionado básico

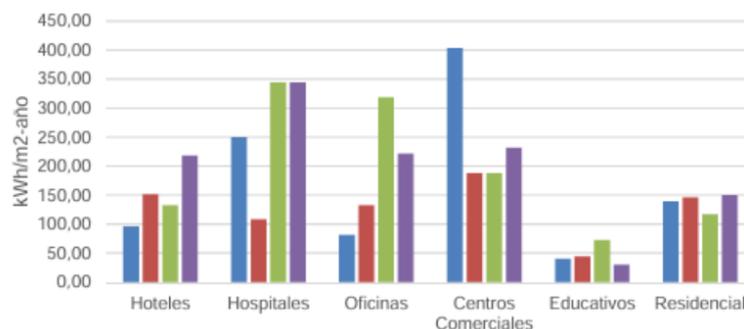
El sistema de climatización comienza con la captación de aire del ambiente, que es filtrado para eliminar impurezas. Luego, el aire es enfriado o calentado según la temperatura deseada y se distribuye a las distintas zonas del edificio. Sensores monitorean la temperatura en tiempo real, y el sistema ajusta el enfriamiento o calentamiento para mantener el ambiente confortable. Finalmente, el ciclo termina o se reinicia dependiendo de si se ha alcanzado la temperatura deseada o el sistema ha sido apagado.

- **Consumo Económico en sistemas de climatización**

En Ecuador, el uso de sistemas de climatización ha crecido significativamente, convirtiéndose en una necesidad esencial para garantizar el confort en edificios situados en las distintas zonas climáticas del país. Este análisis se enfocará en la región costera de Ecuador, donde la utilización de aires acondicionados es indispensable para la mayoría de las personas, especialmente durante el verano, cuando las temperaturas suelen oscilar entre los 30 y 35 grados Celsius (Varela & Ron, 2022).

**Figura 3**

*Grafica de barras de consumo energético*



*Nota: Consumo energético por regiones climáticas (Morejón, Ospino, & Santos, 2018)*

Aunque la Figura 3 proviene de un estudio realizado en Colombia en 2018, es pertinente para ilustrar las diferencias climáticas entre las regiones de Ecuador, dado que ambos países comparten condiciones climáticas similares, con mínimas variaciones. El

gráfico presenta cuatro barras de distintos colores que representan el consumo energético según el tipo de edificio y la zona climática.

Estas similitudes climáticas refuerzan la relevancia de aplicar los hallazgos del estudio colombiano al contexto ecuatoriano, especialmente en lo que respecta al consumo energético en diferentes tipos de edificaciones y zonas climáticas.

Las barras están identificadas de la siguiente manera:

- Azul: Clima cálido húmedo (predominante en la costa ecuatoriana).
- Rojo: Clima templado, característico de zonas bajas de la cordillera de los Andes, con altitudes entre 1,000 y 2,000 metros.
- Verde: Clima cálido seco, típico de ciudades costeras como Salinas y Manta.
- Violeta: Clima frío, propio de regiones andinas a gran altitud, como Quito y Ambato.

El análisis de la figura muestra que los centros comerciales en zonas de clima cálido húmedo registran un consumo energético notablemente alto, lo que se traduce en costos económicos significativos.

Según el Ministerio de Energía y Minas de Ecuador en 2024, el costo del kilovatio-hora (kWh) oscilaba entre USD 0,0748 y USD 0,0986 (Ecuador, 2024), dependiendo del horario de consumo. Basándose en este rango, el consumo energético promedio de la empresa TIA, que alcanza aproximadamente 75,603,064.9 kWh anuales, implica un gasto anual en energía eléctrica de alrededor de 6 millones de dólares.

De este total, se estima que el 40% corresponde al consumo de los sistemas de climatización y aires acondicionados, lo que representa un gasto anual de aproximadamente 2.4 millones de dólares solo en este rubro. Esta información se encuentra detallada en la 'Memoria de Sostenibilidad 2022 de la revista Somos Ecuador' (Tia, 2022),

lo cual refleja la significativa carga económica que representa la climatización en las operaciones de la empresa cliente.

#### **1.4.2 Aspectos técnicos**

El proyecto integrador se compone de dos fases principales: la fase del prototipo y la fase de la aplicación móvil. En la fase del prototipo, se emplean diversos componentes técnicos que, en conjunto, facilitan el envío de los datos esenciales para el correcto funcionamiento del sistema. Entre los componentes clave se encuentran los sensores de corriente, voltaje, temperatura y humedad, una fuente de energía para alimentar el prototipo, y un microcontrolador encargado de gestionar y transmitir los datos.

##### **1.4.2.1 Microcontrolador**

Un microcontrolador es un sistema integrado en un solo chip que incluye un procesador, memoria y periféricos de entrada y salida, diseñado específicamente para ejecutar tareas concretas en dispositivos electrónicos. Estos componentes son fundamentales en una amplia gama de aplicaciones, desde electrodomésticos y automóviles hasta sistemas de control industrial, donde la precisión y la eficiencia son cruciales para el funcionamiento de los dispositivos. Los microcontroladores permiten que los dispositivos realicen tareas específicas, lo que los hace indispensables en la automatización y el control de procesos.

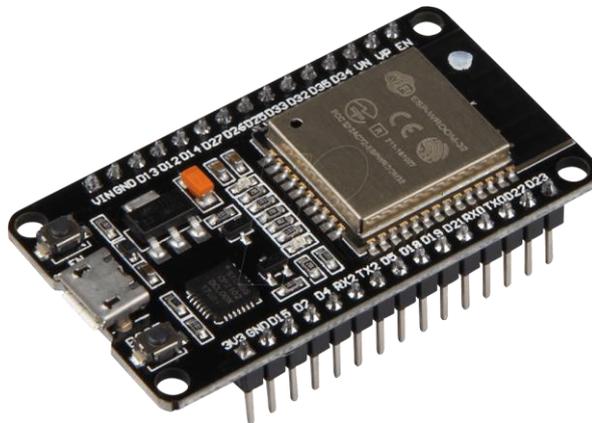
En el ámbito de la Internet de las Cosas (IoT), la capacidad de conectarse a redes inalámbricas es esencial, y existen varios microcontroladores que ofrecen esta funcionalidad. Entre ellos, el ESP32 se destaca por su alta capacidad, ya que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip, lo que lo convierte en una opción popular en proyectos de IoT debido a su equilibrio entre rendimiento y costo. Otro ejemplo es el Arduino MKR WiFi 1010, que combina la facilidad de uso de la plataforma Arduino con

Wi-Fi embebido, siendo ideal para quienes buscan realizar prototipos rápidos y sencillos en el ámbito de IoT. Asimismo, el Particle Photon es un microcontrolador orientado a IoT con Wi-Fi integrado, diseñado específicamente para facilitar la conexión a servicios en la nube, lo que lo convierte en una opción atractiva para desarrolladores que buscan simplicidad y eficiencia.

El ESP32 destaca frente a otros microcontroladores gracias a varias características notables. Su procesador de doble núcleo permite gestionar simultáneamente diversos protocolos de comunicación, incluidos Wi-Fi, Bluetooth y BLE, lo que lo convierte en una opción altamente versátil para múltiples aplicaciones relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT)). Además, su capacidad para funcionar en modos de bajo consumo energético resulta crucial en dispositivos que requieren una alta eficiencia energética, especialmente aquellos alimentados por baterías que necesitan operar durante períodos prolongados. La solidez del ESP32 también radica en el respaldo de una amplia comunidad de desarrolladores y en la abundante documentación disponible, factores que simplifican tanto el desarrollo como la solución de problemas técnicos, asegurando al mismo tiempo la escalabilidad y confiabilidad en proyectos IoT de diversos niveles de complejidad.

#### **Figura 4**

*Modelo del microcontrolador ESP32*

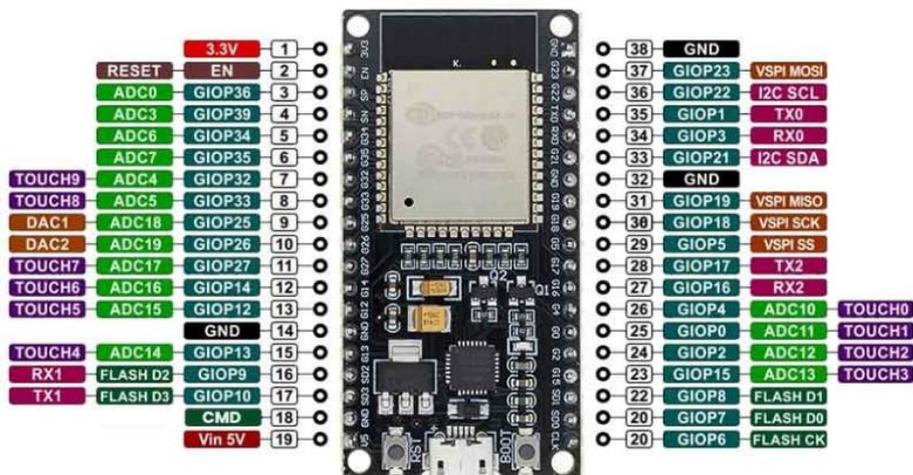


*Nota:* Ilustración del ESP32 tomada de su hoja de datos (Systems, 2023)

El ESP32 dispone de una amplia cantidad de pines GPIO (General Purpose Input/Output) que facilitan la conexión con una variedad de sensores y actuadores. Estos pines son muy versátiles y se pueden configurar para desempeñar diversas funciones, como PWM, I2C, SPI, ADC, DAC, entre otras. Además, algunos pines cuentan con características especiales, como capacidades touch o funciones UART para comunicación serial, lo cual añade flexibilidad y potencia al diseño de proyectos electrónicos (Series, 2021).

**Figura 5**

*Pines del ESP32*



*Nota:* Información para la conexión de los pines del ESP32 (Systems, 2023)

La programación del ESP32 generalmente se realiza en lenguajes como C++, utilizando entornos como Arduino IDE, o en MicroPython, permitiendo a los desarrolladores escoger la opción que mejor se adapte a sus necesidades y conocimientos. El ESP32 posee pines de comunicación como UART, I2C, y SPI también se incluyen pines táctiles y de control, que son esenciales para múltiples aplicaciones (Systems, 2023).

**Figura 6**

*Especificaciones técnicas del ESP32*

Specifications	ESP32
MCU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	Yes, HT40
Bluetooth	Bluetooth 4.2 and below
Typical Frequency	160 MHz
SRAM	512 kBytes
Flash	SPI Flash , up to 16 MBytes
GPIO	36
Hardware / Software PWM	1 / 16 Channels
SPI / I2C / I2S / UART	4/2/2/2
ADC	12-bit
CAN	1
Ethernet MAC Interface	1
Touch Sensor	Yes
Temperature Sensor	Yes
Working Temperature	- 40°C – 125°C

*Nota:* Datos recopilados de la Hoja de datos del ESP32 (Systems, 2023)

El ESP32 es una opción altamente factible para su uso en aplicaciones industriales debido a su capacidad de procesamiento, conectividad Wi-Fi y Bluetooth, y múltiples interfaces de comunicación como SPI, I2C y UART.

Su capacidad de operar en un amplio rango de temperaturas (-40°C a 125°C) lo hace adecuado para entornos industriales exigentes (Punguil, Rojas, Guillen, & Herrera, 2024). Además, su bajo consumo de energía y soporte para actualizaciones remotas lo hacen ideal para la supervisión y control de procesos en tiempo real, lo que reduce costos y mejorar la eficiencia operativa.

## **1.5 Estado del arte**

El desarrollo de sistemas de monitoreo y análisis energético para aires acondicionados ha ganado importancia debido a la necesidad de reducir el consumo eléctrico en empresas e instituciones, donde estos equipos representan una de las principales fuentes de gasto. La falta de monitoreo continuo dificulta la identificación de patrones de consumo y la implementación de estrategias de ahorro, lo que incrementa los costos operativos. Diversos estudios han abordado la implementación de tecnologías avanzadas para el monitoreo energético, destacando la integración de machine learning y sistemas de almacenamiento en la nube como herramientas clave para optimizar el uso de estos dispositivos.

En particular, los avances recientes en algoritmos de machine learning permiten predecir el consumo energético futuro y detectar anomalías o fallas potenciales en los aires acondicionados, lo cual es esencial para el mantenimiento predictivo. Esto ha permitido un enfoque más eficiente en la gestión de estos equipos, mejorando su vida útil y reduciendo los tiempos de inactividad. El uso de sensores avanzados para registrar variables como la temperatura, humedad y ocupación de los espacios climatizados ha sido fundamental para alimentar los modelos predictivos que optimizan el consumo energético y detectan posibles fallas.

Sin embargo, la adopción de estos sistemas ha sido limitada por el costo de implementación y la falta de infraestructura en algunas regiones. No obstante, el acceso a tecnologías más asequibles como el ESP32 para la recolección de datos y el almacenamiento en la nube ha abierto nuevas oportunidades. Aplicaciones móviles, que permiten monitorear en tiempo real el consumo y las condiciones de los equipos, están transformando la manera en que se gestionan los sistemas de climatización, facilitando la toma de decisiones informadas y el ahorro energético.

El estado del arte de este tema demuestra la convergencia de machine learning, sensores inteligentes y conectividad móvil en el desarrollo de sistemas avanzados de monitoreo energético. Estos avances ofrecen una solución viable para enfrentar los desafíos actuales de consumo

excesivo de energía en sistemas de climatización, contribuyendo a la reducción de costos y la mejora en la eficiencia operativa de las empresas.

# Capítulo 2

## 2. METODOLOGÍA

Este capítulo describe la metodología empleada para el desarrollo y selección de los componentes en el sistema inteligente de monitoreo y análisis de consumo energético de aires acondicionados. Este sistema no solo permite registrar y calcular el consumo en tiempo real, sino que también se integra con una aplicación móvil para que los usuarios visualicen patrones de consumo, costos energéticos y reciban alertas de posibles fallas. A través del uso de machine learning, se busca implementar mantenimiento predictivo, mejorando la eficiencia energética y contribuyendo a la sostenibilidad y ahorro de costos en el funcionamiento de los equipos.

### 2.1 Alternativas de solución.

#### **Solución 1: Monitoreo mediante sensores y análisis predictivo de consumo y fallas a través de una aplicación móvil.**

Esta solución utiliza sensores de corriente, voltaje, temperatura y humedad instalados en cada aire acondicionado, conectados a un microcontrolador que recopila datos en tiempo real. La información se envía a una plataforma en la nube, donde algoritmos de machine learning realizan un análisis predictivo del consumo y de posibles fallas. Esto permite identificar patrones de consumo anómalos y predecir fallas antes de que ocurran, optimizando la eficiencia energética y reduciendo los costos de mantenimiento. Todos los datos y análisis están disponibles para el operador en una aplicación móvil, que proporciona gráficos de consumo, alertas en tiempo real y recomendaciones para mejorar la eficiencia energética, facilitando la toma de decisiones informadas y el monitoreo continuo del sistema desde cualquier ubicación.

#### **Solución 2: Plataforma de monitoreo con generación de informes y análisis comparativo histórico.**

Sensores de corriente, voltaje, temperatura y humedad envían datos a una plataforma en la nube que realiza un análisis histórico detallado. El sistema permite generar informes comparativos para identificar patrones de consumo y detectar posibles ineficiencias. Las recomendaciones y alertas son enviadas a una aplicación móvil, permitiendo al operador evaluar y optimizar el uso energético a largo plazo, mejorando la eficiencia y reduciendo costos.

### **Solución 3: Monitoreo y control local mediante red de sensores IoT con respuesta automatizada.**

Esta solución instala sensores de corriente, voltaje, temperatura y humedad en cada aire acondicionado, conectados a una red IoT que transmite los datos a una unidad central local en la empresa. Los datos se procesan localmente, permitiendo ajustes automáticos en los equipos según la demanda sin depender de la conectividad a internet. Las alertas y recomendaciones llegan al operador a través de una aplicación móvil, asegurando un control continuo y optimización inmediata.

#### **2.1.1 Criterios de selección**

- **Costo y retorno de inversión:** Evaluación del costo total de implementación y mantenimiento del sistema, y su capacidad para generar ahorros energéticos y reducir costos operativos, asegurando una recuperación rápida de la inversión inicial.
- **Facilidad de Mantenimiento:** Grado de complejidad para la instalación inicial y la frecuencia y simplicidad del mantenimiento, buscando minimizar tiempos de inactividad y facilitar la gestión por parte del operador.
- **Capacidad de monitoreo y precisión:** Eficiencia del sistema en la captura precisa de datos de consumo energético, temperatura, y humedad, permitiendo un monitoreo confiable en tiempo real y la detección de picos o anomalías.

- **Compatibilidad con infraestructura existente:** Facilidad con la que el sistema puede integrarse con los aires acondicionados y equipos eléctricos actuales de la empresa, maximizando el uso de los recursos disponibles y evitando modificaciones costosas.
- **Escalabilidad:** Capacidad del sistema para adaptarse a un número variable de unidades de aire acondicionado y ajustarse a futuras expansiones o cambios en la infraestructura sin comprometer el rendimiento.

### **2.1.2 Evaluación de los criterios de selección.**

Para evaluar los criterios de selección, se realizó un análisis exhaustivo de los requerimientos energéticos y operativos de la empresa cliente, centrado en la eficiencia y sostenibilidad en el uso de aires acondicionados. Este análisis incluyó una revisión de estudios recientes sobre tecnologías de monitoreo energético y eficiencia en sistemas de climatización para empresas en zonas de alto consumo eléctrico, como las de Ecuador. Según la AEE (2023), la implementación de soluciones de monitoreo puede reducir costos hasta en un 30%, siendo cruciales aquellos sistemas que combinan precisión, escalabilidad y facilidad de mantenimiento.

Asimismo, se realizaron consultas con técnicos de la empresa cliente y especialistas en sistemas de automatización, quienes aportaron perspectivas sobre la infraestructura actual, el presupuesto disponible y las necesidades específicas de monitoreo. Esta información ayudó a asignar el peso adecuado a cada criterio de selección, priorizando aspectos como el retorno de inversión, la facilidad de integración y la capacidad del sistema para adaptarse a futuras expansiones.

**Tabla 1***Ponderación de los criterios de selección*

<b>Criterios</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Valor Decimal</b>
Costo y rentabilidad	90	0.9
Implementación y mantenimiento	80	0.8
Precisión y exactitud	90	0.9
Integración y compatibilidad	70	0.7
Escalabilidad y Flexibilidad	80	0.8

Nota. Datos proporcionados por el cliente

### **2.1.3 Puntuación de los criterios de selección**

La evaluación de las soluciones propuestas se realizó considerando criterios clave como costo, facilidad de instalación, precisión en el monitoreo, compatibilidad con la infraestructura existente, y escalabilidad. Cada criterio se puntuó del 1 al 10, en función de su adecuación a las necesidades específicas de la empresa TIA y su impacto potencial en la reducción de costos energéticos y en la optimización de la eficiencia operativa. Esta puntuación se apoyó en la revisión de casos de éxito en sistemas de monitoreo energético y en presupuestos de equipos y servicios similares, proporcionando una visión clara de la viabilidad de cada solución propuesta.

**Tabla 2***Puntuación de propuestas de soluciones*

<b>Criterios</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>
Rentabilidad	9	4	6
Implementación y mantenimiento	8	5	5
Compatibilidad	8	4	4
Precisión	9	9	6
Escalabilidad	9	8	8

*Nota.* Datos proporcionados por el autor

Al otorgar los puntajes, cada uno se multiplica por el factor de importancia asociado a su respectivo criterio (de acuerdo con la Tabla 2). Este cálculo produce el valor ponderado de cada alternativa según los criterios de selección establecidos. El análisis subsiguiente facilitará la identificación de la opción más apropiada para el proyecto (según se detalla en la Tabla 3), seleccionando aquella que obtenga el puntaje total más alto.

**Tabla 3***Evaluación de soluciones propuestas*

<b>Criterios</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>
Rentabilidad	8.1	3.6	4.5
Implementación y mantenimiento	6.4	4.0	5.6
Compatibilidad	5.6	2.8	3.5
Precisión	8.1	8.1	6.3
Escalabilidad	7.2	6.4	7.2
<b>Total</b>	<b>35.4</b>	<b>24.9</b>	<b>27.2</b>

*Nota.* Puntaje establecido en función de la importancia en la industria

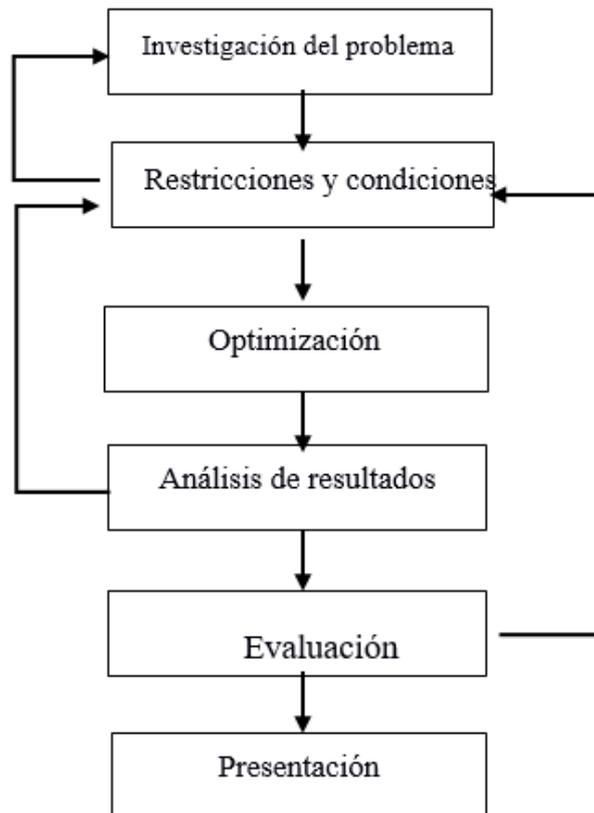
En base a los valores obtenidos y al total de cada una de las soluciones, se llega a la conclusión de que la solución más factible es la Solución 1: Monitoreo mediante sensores y análisis predictivo de consumo y fallas a través de una aplicación móvil.

## 2.2 Proceso del diseño

El diseño del prototipo se realizó de manera metódica, siguiendo el enfoque detallado en la Figura 11. Este enfoque estructurado permitió crear una solución efectiva que cumple con los requisitos específicos del cliente.

**Figura 7**

*Diagrama metodológico*



*Nota.* Metodología de trabajo para determinar la mejor solución.

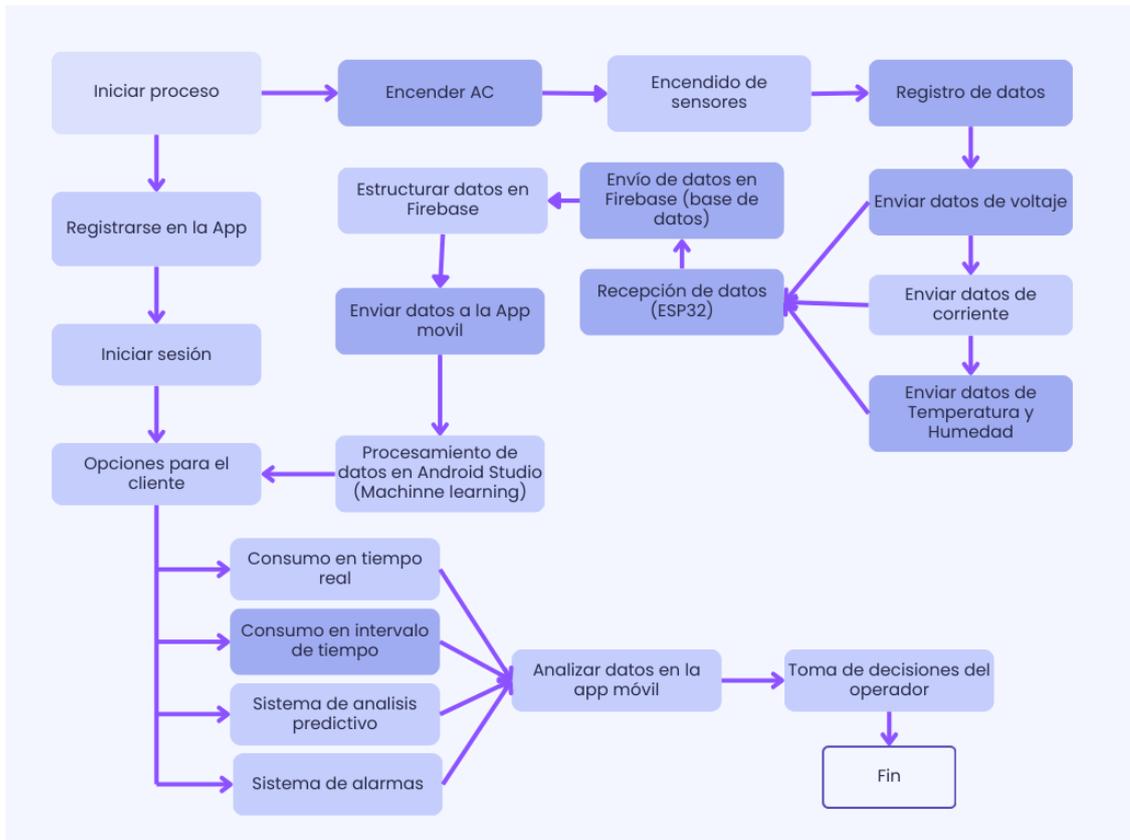
### **2.2.1 Requerimientos para el diseño del prototipo**

El sistema de monitoreo de consumo energético de aires acondicionados consta de una aplicación móvil y un sistema de sensores que trabajan en conjunto para capturar, analizar y presentar datos sobre el consumo energético. Los usuarios pueden registrarse e iniciar sesión en la app para acceder a opciones como el monitoreo en tiempo real, el análisis de consumo en intervalos de tiempo, y un sistema de análisis predictivo que utiliza machine learning en Android Studio para anticipar patrones de consumo y detectar anomalías. Además, el sistema incluye un sistema de alarmas que notifica al usuario sobre picos de voltaje.

Los sensores miden parámetros como voltaje, corriente, temperatura y humedad, y envían estos datos a una base de datos en Firebase a través del ESP32. Posteriormente, los datos se estructuran y se envían a la aplicación móvil para que el operador pueda tomar decisiones informadas basadas en el análisis de consumo y en reportes visuales. Este enfoque integrado permite al usuario monitorear y gestionar de manera eficiente el consumo energético, contribuyendo a optimizar el uso y reducir costos operativos.

**Figura 8**

*Diagrama de flujo del proyecto*



*Nota:* Diagrama explicativo del proyecto

- **Sensor de corriente:**

El sensor SCT-013 es una herramienta ampliamente utilizada para medir corrientes alternas de forma no invasiva, gracias a su diseño de tipo pinza. Este sensor se destaca por su capacidad para medir corrientes de hasta 100 amperios con precisión, lo que lo hace ideal para aplicaciones de monitoreo energético en sistemas residenciales, industriales y de IoT. Una de sus principales ventajas es que no requiere interrumpir el circuito eléctrico para realizar las mediciones, lo que facilita su instalación y reduce riesgos. Además, su diseño compacto y su compatibilidad con microcontroladores como el ESP32 lo convierten en una opción versátil para proyectos que requieren monitoreo en tiempo real. La disponibilidad de documentación extensa y el soporte de una comunidad activa hacen del

SCT-013 una herramienta accesible y confiable para el desarrollo de soluciones orientadas a la eficiencia energética y la gestión de consumo eléctrico.

### **Figura 9**

#### *Sensor de corriente*



*Nota:* Ilustración del sensor de corriente SCT-013

- **Ventajas del sensor:**

El sensor SCT-013 se integra fácilmente con microcontroladores como el ESP32 gracias a su salida analógica proporcional a la corriente medida, permitiendo monitoreo en tiempo real a través de los pines ADC. Su diseño de núcleo dividido facilita la instalación sin interrumpir el circuito eléctrico, mientras que el aislamiento galvánico protege al sistema de daños por sobre corrientes o picos eléctricos. Con una variedad de modelos que abarcan diferentes rangos de medición, es altamente versátil y adecuado para aplicaciones que van desde pequeños electrodomésticos hasta sistemas de alta potencia. Además, al combinarse con las capacidades de comunicación del ESP32, como Wi-Fi y Bluetooth, el SCT-013 permite implementar sistemas IoT eficientes para monitoreo remoto, análisis energético y optimización del consumo eléctrico.

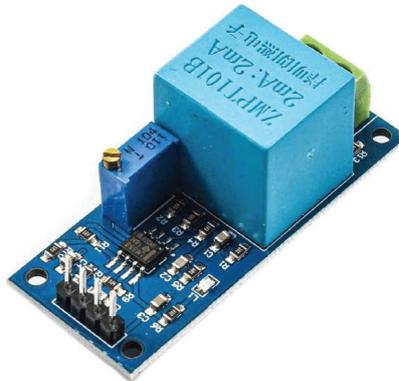
- **Sensor de voltaje:**

El ZMPT101B es un sensor especializado en la medición de voltaje alterno (CA) con alta precisión, ideal para aplicaciones de monitoreo energético. Se caracteriza por su diseño compacto, bajo consumo de energía y salida analógica proporcional al voltaje

medido, lo que lo hace perfectamente compatible con los pines ADC del ESP32. Su alta sensibilidad y estabilidad permiten capturar pequeñas variaciones de voltaje, mientras que el ESP32 puede procesar y enviar los datos de manera eficiente mediante Wi-Fi o Bluetooth. Este sensor es ideal para proyectos IoT enfocados en la monitorización eléctrica, ofreciendo una solución económica y confiable para sistemas inteligentes de energía.

### **Figura 10**

#### *Sensor de voltaje*



*Nota:* Ilustración del sensor de voltaje ZMPT101B

El ZMPT101B es ideal para su conexión a un ESP32 debido a su salida analógica estable y precisa, que puede ser fácilmente leída por los pines ADC del microcontrolador. Esto permite medir voltajes alternos en tiempo real, con alta sensibilidad incluso para pequeñas variaciones. Además, su diseño compacto y bajo consumo lo hacen eficiente para proyectos IoT. Combinado con la capacidad del ESP32 para enviar datos mediante Wi-Fi o Bluetooth, facilita el monitoreo remoto de sistemas eléctricos, análisis de calidad de energía o detección de anomalías, siendo una solución económica y efectiva para aplicaciones de monitoreo energético.

### 2.2.2 Dimensionamiento de la Fuente de Alimentación para el Sistema

Para el diseño del sistema electrónico, es crucial determinar la potencia total requerida por los componentes principales: el ESP32 y los sensores de voltaje, corriente, temperatura y humedad. Basándonos en las especificaciones comunes de estos dispositivos, los cálculos se detallan a continuación:

- **Potencia requerida por el ESP32**

El ESP32 opera típicamente con un voltaje de 5V y consume una corriente promedio de 500mA al utilizar Wi-Fi para transmisión de datos.

$$V_{ESP-32} = 5V$$

$$I_{ESP-32} = 500mA$$

$$P_{ESP-32S} = 5 * 0.5 = 2.5 \text{ Watts}$$

- **Potencia requerida por el sensor de voltaje**

El sensor de voltaje, como el ZMPT101B, opera a 5V y consume una corriente de aproximadamente 7mA.

$$V_{sensorV} = 5V$$

$$I_{sensorV} = 7mA$$

$$P_{sensorV} = 5 * 0.007 = 0.035 \text{ Watts}$$

- **Potencia requerida por el sensor de corriente**

El sensor de corriente, como el ACS712, opera a 5V y tiene un consumo típico de 13mA.

$$V_{sensorI} = 5V$$

$$I_{sensorI} = 0.013mA$$

$$P_{sensorI} = 5 * 0.013 = 0.065 \text{ Watts}$$

- **Potencia requerida por el sensor de temperatura y humedad**

El sensor DHT22 funciona a 3.3V y consume una corriente promedio de 2.5mA.

$$V_{T-H} = 5V$$

$$I_{T-H} = 500mA$$

$$P_{T-H} = 3.3 * 0.0025 = 0.00825 \text{ Watts}$$

- **Potencia total requerida**

La potencia total del sistema se calcula sumando las potencias de todos los componentes:

$$P_{total} = 2.5 + 0.035 + 0.065 + 0.00825 = 2.61 \text{ Watts}$$

### 2.2.3 Selección de la fuente de alimentación

Para garantizar un funcionamiento estable y margen de seguridad, se recomienda elegir una fuente de alimentación con capacidad superior al consumo calculado. Una fuente de 5V y 1A (5W) es adecuada para este sistema, ya que cubre ampliamente los requisitos y permite futuras expansiones.

Todos los componentes trabajan con 5V lo que es muy práctico ya que no se necesita hacer uso de reductores de voltaje, es decir, se puede trabajar con facilidad haciendo uso de una batería tipo Lipo de 5V.

## 2.3 Análisis del software

El sistema está diseñado para recolectar datos esenciales mediante una arquitectura de sensores distribuidos que interactúan con dos microcontroladores. El microcontrolador principal recopila datos de corriente, a través del sensor SCT-013, y de voltaje, utilizando el sensor ZMPT101B. Por su parte, el microcontrolador secundario se encarga de medir la temperatura y humedad del ambiente mediante el sensor DHT11, instalado en la sala abierta al público. Ambos microcontroladores envían los datos recolectados a la base de datos en la nube llamada “PruebaTesisPaul”, utilizando conectividad Wi-Fi y protocolos de comunicación HTTP. Una vez almacenados en la base de datos, los datos son procesados por un sistema de aprendizaje profundo que permite generar predicciones a

través de técnicas de machine learning. Finalmente, esta información se integra con una aplicación móvil desarrollada en Android Studio, que permite al cliente visualizar en tiempo real las mediciones, análisis predictivos y registros históricos, ofreciendo una solución intuitiva y eficiente para la gestión del sistema de aire acondicionado.

### 2.3.1 Selección de base de datos

**Tabla 4**

*Plataformas con servicio a la nube*

<b>Plataforma</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Supabase	Es de código abierto	Falta de soporte
Google Cloud	Alta seguridad y privacidad	No recomendable para NoSQL
MongoDB Atlas	Altamente flexible y escalable	Es de pago
Firebase	Es gratuito y muy compatible con Android Studio	Depende del proveedor

*Nota.* Diferenciación entre plataformas en la nube con fácil conectividad a aplicaciones móviles.

Para la implementación de la base de datos en la aplicación móvil, se evaluaron diversas plataformas, considerando factores como seguridad, escalabilidad, flexibilidad y compatibilidad con Android Studio. Entre las opciones analizadas se encuentran Supabase, Google Cloud, MongoDB Atlas y Firebase.

Supabase, al ser de código abierto, ofrece control total sobre los datos, pero su falta de soporte representa una limitación. Google Cloud proporciona alta seguridad y privacidad, pero no es recomendable para bases de datos NoSQL, lo que restringe su aplicabilidad en entornos dinámicos. MongoDB Atlas es una solución altamente flexible y escalable, ideal para grandes volúmenes de datos, aunque su costo puede ser una barrera.

Se eligió Firebase debido a su facilidad de integración con Android Studio, su escalabilidad en tiempo real y su modelo de uso gratuito con opciones de pago según demanda. Además, al ser una solución gestionada por Google, proporciona infraestructura confiable y optimizada para aplicaciones móviles.

### **2.3.2 Desarrollo e Integración de Machine Learning**

Para el entrenamiento del modelo de machine learning, se utilizaron 150 datos recopilados entre el 27 de enero y el 2 de febrero de 2025. Estos datos fueron extraídos de la base de datos en Firebase y exportados en formato CSV, permitiendo su uso como conjunto de entrenamiento.

El modelo fue desarrollado utilizando TensorFlow, una biblioteca de código abierto creada por Google para el aprendizaje automático, en combinación con Keras, una API de alto nivel que se ejecuta sobre TensorFlow y facilita la construcción y entrenamiento de redes neuronales.

#### **Figura 11**

*Logo de TensorFlow*



*Nota:* Logo de TensorFlow sacado de su página web (Chollet & Lieder, 2015)

Se empleó un modelo secuencial, una arquitectura de machine learning donde las capas se organizan de manera lineal, permitiendo que la información fluya de una capa a otra en un solo sentido. Este enfoque es ampliamente utilizado en problemas de predicción,

ya que permite la combinación de múltiples capas densas o convolucionales para extraer patrones y aprender relaciones en los datos.

Para realizar predicciones, el modelo se basa en patrones detectados dentro del conjunto de entrenamiento. Estos patrones se aprenden mediante algoritmos de optimización y funciones de activación, que ajustan los pesos de la red neuronal para minimizar el error en la predicción.

En el presente proyecto, se establecieron dos tipos de predicción, los cuales se explicarán en los apartados 2.3.3 y 2.3.4.

### **2.3.3 Desarrollo de un Modelo de Predicción para Picos y Caídas de Voltaje**

Para la predicción de picos y caídas de voltaje en el aire acondicionado, se utilizó un conjunto de datos extraído de la base de datos en Firebase. Este conjunto, almacenado en un archivo CSV, contiene información sobre el valor del voltaje de entrada y la fecha y hora en que fue registrado. Estos datos son suficientes para identificar patrones en el comportamiento del voltaje mediante un modelo secuencial de *machine learning*.

El modelo fue entrenado utilizando TensorFlow y Keras, implementados en un entorno compatible con *Python*, ya que estos modelos solo pueden ejecutarse en Python o C++. Por esta razón, el entrenamiento no puede realizarse directamente en Android Studio, ya que este utiliza Java, un lenguaje no compatible con TensorFlow. En su lugar, se empleó Visual Studio, un entorno de desarrollo que permite trabajar con Python y configurar eficientemente los modelos de *machine learning*.

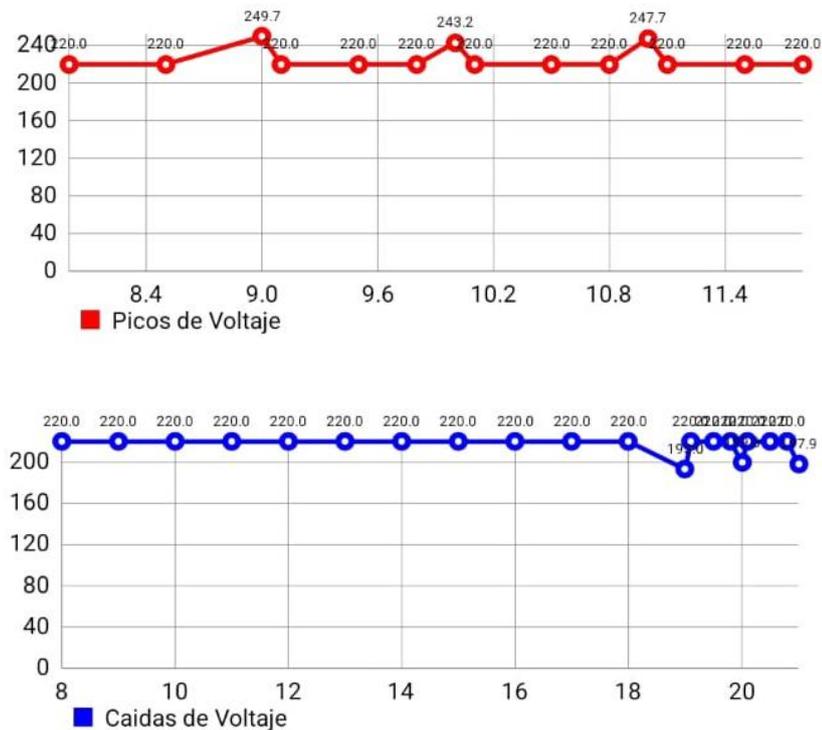
Uno de los aspectos esenciales en el entrenamiento del modelo es su optimización, la cual se logra ajustando los parámetros internos de la red neuronal mediante un proceso iterativo. En este caso, se estableció un número de 50 épocas

(*epochs*), lo que significa que el modelo pasó 50 veces por el conjunto de datos de entrenamiento para mejorar su precisión.

El modelo realiza predicciones basándose en probabilidades, determinando cuándo ocurrirán picos de voltaje y su magnitud, así como las caídas de voltaje y su horario estimado. Para garantizar mayor precisión, las predicciones se establecen en intervalos de 24 horas, reduciendo la influencia de factores externos que podrían afectar los valores esperados.

**Figura 12**

*Graficas de predicción de picos y caídas de voltaje*



*Nota:* Ilustraciones realizadas por el autor del proyecto

### 2.3.4 Desarrollo de un modelo de predicción para consumo energético

Para la predicción del consumo energético del aire acondicionado, se utilizó un conjunto de datos extraído de Firebase. Este conjunto, almacenado en

un archivo CSV, incluye la temperatura externa (ambiente), la temperatura interna (dependiente del aire acondicionado y la cantidad de personas en el local) y el consumo energético en kW. Estos datos permiten identificar patrones y predecir el consumo del siguiente día mediante un modelo de machine learning.

El modelo fue entrenado utilizando TensorFlow y Keras en Python, ya que estos frameworks no son compatibles con Java, el lenguaje principal de Android Studio. Por ello, el entrenamiento se realizó en Visual Studio, un entorno adecuado para trabajar con Python.

A diferencia del modelo de picos y caídas de voltaje, que es de clasificación, en este caso se utilizó un modelo secuencial de regresión. Este tipo de modelo predice valores continuos, en este caso la temperatura óptima del aire acondicionado para maximizar la eficiencia energética. El entrenamiento se llevó a cabo con 50 épocas (epochs) para mejorar la precisión del modelo.

El modelo genera tres resultados clave:

1. **Temperatura Óptima:** Indica la temperatura ideal para evitar desperdicio de energía.
2. **Consumo Estimado:** Predice el consumo por hora si se aplica la temperatura recomendada.
3. **Ahorro Energético y Económico:** Se compara el consumo diario predicho con un día normal, calculando el ahorro en kWh y su equivalente en dólares.

Este modelo permite optimizar el uso del aire acondicionado, reduciendo costos sin afectar el confort térmico.

**Figura 13**

*Gráfico de predicción de temperatura y consumo*



*Nota:* Ilustración realizada por el autor del proyecto

# Capítulo 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los tres aspectos desarrollados: la implementación del sistema conectado a la nube, el diseño de la aplicación móvil, diseño de la base de datos y la integración de algoritmos de machine learning. En cuanto al sistema en la nube, se logró un monitoreo continuo del consumo energético de los aires acondicionados, con cálculos automáticos de costos basados en la tarifa eléctrica vigente, y se presentaron gráficos detallados de consumo histórico. En el diseño de la aplicación móvil, se incluyó una interfaz intuitiva que permite visualizar en tiempo real los datos recolectados, recibir alertas sobre anomalías y acceder a recomendaciones para mejorar la eficiencia energética. Finalmente, los algoritmos de machine learning implementados en la aplicación móvil mostraron una precisión significativa en la predicción de fallas, optimizando los tiempos de mantenimiento y reduciendo los costos operativos. Estos resultados se ilustran mediante gráficos comparativos, capturas de pantalla de la aplicación y métricas de evaluación del modelo predictivo.

### 3.1 Diseño del sistema físico

El sistema de monitoreo se implementó conectando dos sensores al aire acondicionado: uno para medir la corriente y otro para medir el voltaje, lo que permite registrar el consumo energético en tiempo real. Estos sensores han sido integrados al microcontrolador ESP32, ubicado a una distancia de aproximadamente 12 metros del enrutador más cercano. Gracias a su potente módulo inalámbrico, se garantiza una conexión estable a la red Wi-Fi.

Además, se ha instalado un sensor de temperatura y humedad en el área de la tienda, donde se encuentran los clientes, lo que permite monitorear las condiciones ambientales y calcular la temperatura efectiva del ambiente. Los datos recolectados por los sensores son procesados en el ESP32 y enviados periódicamente a una base de datos en la nube mediante protocolos seguros.

Esto ha permitido centralizar la información y facilitar el acceso a través de aplicaciones o plataformas remotas, optimizando la supervisión y el análisis en tiempo real.

### 3.2 Diseño de Software

Previo a la conexión a base de datos, se realizó una configuración de todos los periféricos que posee el microcontrolador, véase apéndice c. Luego, se conectó a la Base de datos de firebase y finalmente se mostró los datos utilizando la aplicación móvil.

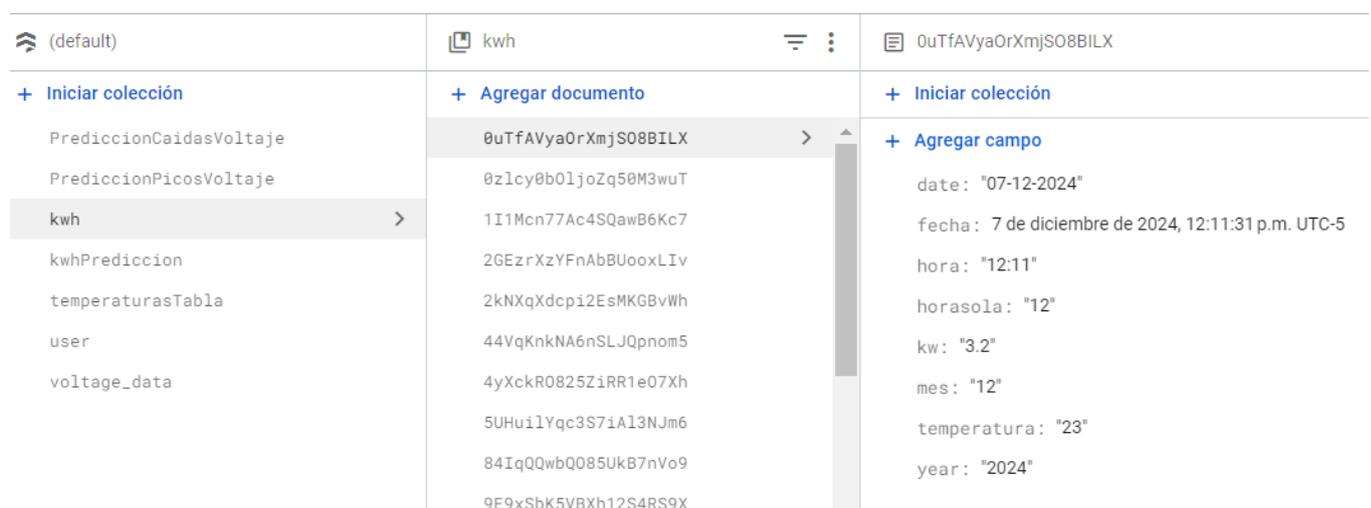
#### 3.2.1 Diseño de la base de datos.

Se diseñó una base de datos en Firebase la cual se conecta directamente a la aplicación móvil haciendo uso de un archivo Json que la misma base de datos nos entrega.

La base de datos fue creada de manera No-SQL lo que nos permite mayor flexibilidad a la hora de recopilar datos de manera creciente a lo largo del tiempo. Esta base de datos consta de Fecha, Id, valor, temperatura.

**Figura 14**

*Diseño de la base de datos*



*Nota:* Datos establecidos desde la aplicación móvil

En la Figura 11 se presenta el diseño principal de la base de datos de Firebase, donde se visualizan las colecciones clave: kwh (que corresponde a la potencia consumida por el aire acondicionado), user (que contiene los datos del usuario necesarios para el inicio de sesión) y voltaje (que almacena los datos de voltaje requeridos para la predicción). Dentro de cada colección, se encuentran los identificadores y los campos correspondientes. Las colecciones Kwh y Voltaje incluyen solo dos campos: el valor respectivo de cada colección enviado por el microcontrolador y la fecha y hora de envío. En cambio, la colección User incluye los campos necesarios para la gestión de la información del usuario, los cuales son:

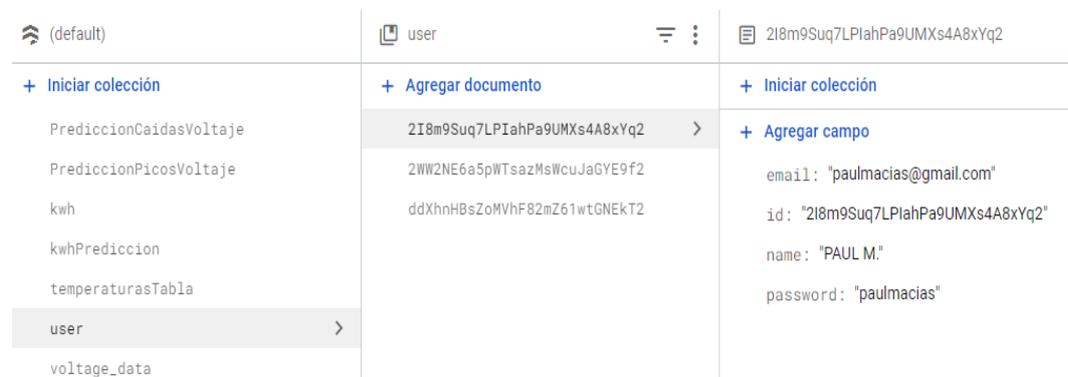
- User: nombre de usuario
- Correo: correo de autorizacion
- Contraseña: clave de acceso
- Id: identificación del usuario

### **3.2.2 Conexión a la base de datos**

Se estableció la conexión con la base de datos de Firebase, lo que requirió la creación de una nueva cuenta de correo en la plataforma. Luego, se configuraron los microcontroladores ESP-32 para permitir la comunicación con Firebase. En este caso, se utilizaron dos ESP-32: uno para recopilar datos de corriente y voltaje de los sensores en los aires acondicionados, y el otro para medir humedad y temperatura. Ambos dispositivos enviaron los datos en tiempo real a Firebase, configurada como una base de datos no relacional, facilitando la organización y almacenamiento de la información. Esta integración permitió monitorear y predecir variables como el consumo energético y las condiciones ambientales, y se detallan más pasos específicos en los anexos.

**Figura 15**

*Prueba de conexión y envío de datos*



*Nota:* Registro mediante aplicación móvil

En la figura 12 se observa el registro e identificación del usuario desde la aplicación móvil, comprobando así la funcionalidad y la conexión exitosa entre la base de datos y la aplicación móvil.

### 3.3 Desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación móvil ENERGY ML AC fue desarrollada utilizando Android Studio, aprovechando las diversas herramientas que ofrece el entorno de desarrollo para crear una interfaz amigable y funcional. A través de botones, imágenes, cuadros de texto y otros elementos interactivos, la aplicación facilita la visualización de los datos relacionados con el consumo de energía de los aires acondicionados. Su principal objetivo es predecir picos de voltaje mediante modelos de machine learning (explicados con anterioridad en el capítulo 2), lo que permite anticipar posibles fluctuaciones y reducir costos operativos. Además, incluye un sistema de alertas que notifica al usuario sobre cualquier irregularidad en el funcionamiento del aire acondicionado.

La aplicación también ofrece información detallada sobre el consumo energético en tiempo real, así como el historial de uso de los aires acondicionados, permitiendo un análisis exhaustivo de la eficiencia energética. Cada pantalla de la aplicación está diseñada para proporcionar una funcionalidad específica, optimizando el control y la gestión del

sistema de climatización. De esta forma, ENERGY ML AC no solo actúa como una herramienta de monitoreo, sino que también automatiza tareas relacionadas con el análisis y la gestión del consumo energético, brindando al usuario una solución integral para mejorar la eficiencia y reducir gastos.

A continuación, se explica detalladamente cada una de las ventanas más importantes.

### **Figura 16**

*Logo de la aplicación móvil*



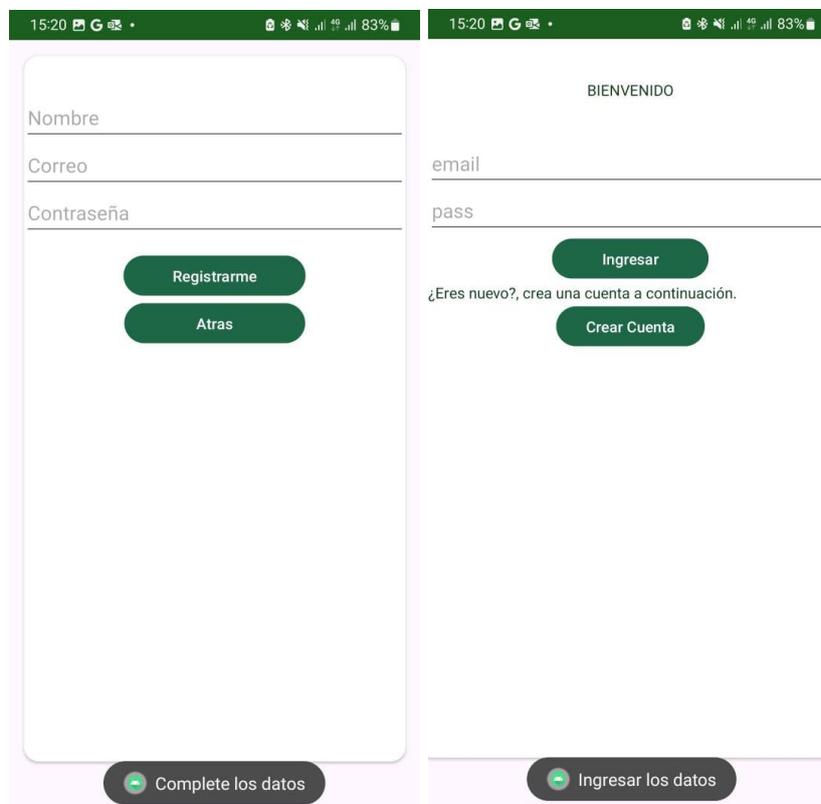
*Nota:* Diseño del logo de la aplicación móvil y nombre propuesto por el autor

#### **3.3.1 Ventana de inicio de sesión**

La ventana de inicio de sesión es fundamental para garantizar que solo los usuarios autorizados puedan acceder a las opciones y funcionalidades de la aplicación. Al ingresar sus credenciales, los usuarios pueden acceder a sus datos personalizados y gestionar su configuración. Además, la aplicación cuenta con una opción de registro, que permite a nuevos usuarios crear una cuenta utilizando su correo electrónico y una contraseña segura. Este proceso de registro es sencillo y rápido, asegurando que los usuarios puedan empezar a utilizar la aplicación de inmediato, ya sea para visualizar sus estadísticas de consumo o configurar alertas y predicciones.

**Figura 17**

*Registro e inicio de sesión*



*Nota:* Necesario completar datos para registrarse

### 3.3.2 Servicios de la aplicación móvil

La aplicación móvil Energy ML presenta 4 tipos de servicios principales los cuales permiten al usuario interactuar desde cualquier parte del mundo con los equipos de aires acondicionados, permitiendo al mismo tener un monitoreo constante de los equipos.

- **Consumo en tiempo real:** Permite monitorear en tiempo real el consumo diario del o los aires acondicionados conectados, este consumo no es solo mostrado en potencia consumida (kw) si no como consumo económico (dólares)
- **Consumo histórico:** Este servicio permite al usuario observar el consumo a lo largo del año diferenciado por meses, de manera que se pueda hacer un análisis de consumo en función de los meses de mayor consumo y así hacer un mantenimiento predictivo

- **Análisis predictivo:** En este servicio podemos encontrar diferentes funciones como el consumo en tiempo real y el consumo recomendado el cual mediante machine learning la aplicación recomendará, también indica en que horarios del día la temperatura será más alta o más baja para así predecir a que temperatura colocar los aires acondicionados.
- **Registro de alarmas:** este servicio tiene la ventaja de presentar un registro de todas las alarmas que muestran los picos de voltaje o caídas de voltaje que pueden dañar los aires acondicionados.

**Figura 18**

*Servicios para el operador*



### 3.3.3 Ventana de consumo actual

Para crear esta ventana, se estableció una conexión directa a la base de datos, utilizando datos reales recopilados del aire acondicionado central. Los valores de voltaje y

potencia fueron extraídos de la base de datos en tiempo real, permitiendo un monitoreo preciso del consumo energético.

Cada barra de la gráfica representa el consumo de potencia por hora, abarcando desde las 9:00 a.m. hasta las 21:00 h. Este intervalo de tiempo fue seleccionado debido a que corresponde al horario de operación de la empresa cliente, la cual es una compañía dedicada al comercio minorista. Durante este período, los aires acondicionados permanecen encendidos para garantizar condiciones óptimas en el establecimiento. Por esta razón, la aplicación móvil fue diseñada para operar dentro de este rango horario, asegurando un monitoreo eficiente del consumo energético en los momentos de mayor uso del sistema de climatización.

Además, la ventana de visualización incluye información detallada que muestra la fecha exacta y la hora del día en la que se consulta el valor del consumo, proporcionando un registro preciso para el análisis y optimización del uso energético.

Es importante destacar que no solo se visualiza el consumo de potencia, sino también el costo en dólares, calculado utilizando un factor de \$0,0748 por kW, tarifa vigente para empresas en Ecuador en 2024 (Ecuador, 2024).

### **Figura 19**

*Ventana de consumo actual*



### 3.3.4 Ventana de consumo histórico

Para el consumo histórico, se utilizaron los datos recopilados de la ventana "Consumo Actual". Estos datos se registran en la base de datos y se presentan en esta ventana mediante una gráfica de barras. En la gráfica, cada barra representa un mes del año en el eje X, mientras que el eje Y muestra el consumo correspondiente.

Es importante destacar que la gráfica no solo muestra el consumo en términos de potencia, sino también su equivalente en dólares. Además, se incluyen botones interactivos que permiten seleccionar fechas específicas, facilitando al usuario la consulta de valores de manera más dinámica y personalizada.

**Figura 20**

*Ventana de consumo histórico*



### 3.3.5 Ventanas de Análisis Predictivo

Para el presente proyecto se implementaron dos ventanas de análisis predictivo: una enfocada en la predicción de picos y caídas de voltaje, y otra en el consumo energético. La primera permite identificar variaciones en la red eléctrica, mientras que la segunda ofrece recomendaciones para optimizar el consumo y reducir costos operativos, estas ventanas se explicaran más detalladas a continuación.

- **Ventana de análisis predictivo de picos y caídas de voltaje**

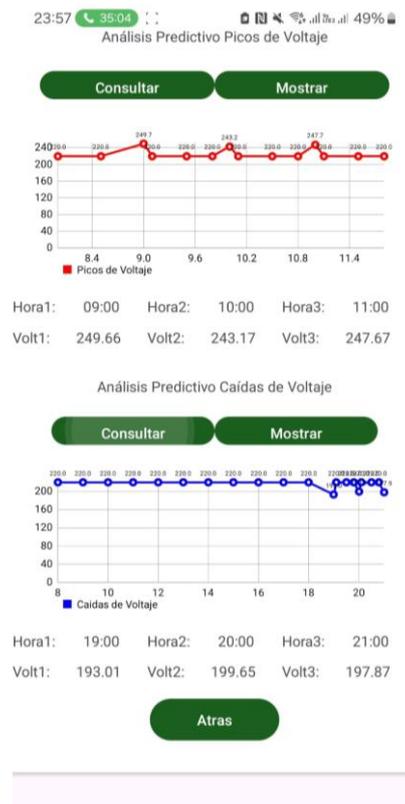
La interfaz dedicada al análisis predictivo de picos y caídas de voltaje permite visualizar de manera detallada las fluctuaciones en la tensión eléctrica suministrada al sistema de climatización. Mediante la representación gráfica de los valores de voltaje en función del tiempo, el usuario puede identificar los momentos específicos en los que ocurren desviaciones significativas respecto al nivel nominal de operación. La aplicación presenta dos gráficos diferenciados: uno para los picos de voltaje y otro

para las caídas, lo que facilita el análisis individual de ambos fenómenos. Adicionalmente, se muestra una tabla con los valores registrados en horarios clave, permitiendo una rápida identificación de los niveles de voltaje anómalos que pueden afectar el rendimiento y la vida útil de los equipos eléctricos.

El sistema emplea algoritmos de aprendizaje automático para el análisis de tendencias en los datos históricos de voltaje, permitiendo así la predicción de futuras fluctuaciones. Esta funcionalidad es esencial para la prevención de daños en los aires acondicionados, ya que permite al usuario anticiparse a posibles sobretensiones o caídas que podrían generar fallos en los equipos. Además, la capacidad de consulta y visualización en tiempo real garantiza una supervisión continua del suministro eléctrico, proporcionando información clave para la implementación de estrategias de protección y mantenimiento preventivo.

**Figura 21**

*Ventana de análisis predictivo, picos y caídas de voltaje*



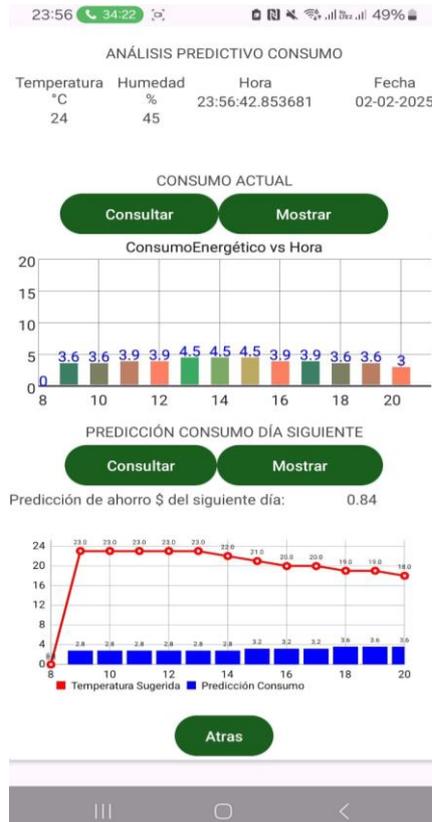
- **Ventana de análisis predictivo de consumo**

La interfaz de análisis predictivo del consumo energético proporciona al usuario una herramienta avanzada para evaluar el gasto eléctrico del sistema de climatización en diferentes condiciones ambientales. En la parte superior, se presentan los valores actuales de temperatura y humedad, variables fundamentales en la modelización del consumo energético. A partir de estos datos, la aplicación genera un gráfico que muestra la evolución del consumo en función de las horas del día, lo que permite visualizar patrones de demanda energética y su posible relación con factores externos. Esta información es crucial para entender cómo las condiciones ambientales influyen en el rendimiento del aire acondicionado y en su eficiencia operativa.

Además, el sistema incorpora un modelo predictivo que sugiere la temperatura óptima para minimizar el consumo sin comprometer la comodidad térmica. La gráfica inferior representa la correlación entre la temperatura recomendada y el consumo estimado para el día siguiente, proporcionando una herramienta de planificación para reducir costos energéticos. Adicionalmente, se calcula el ahorro potencial en términos monetarios, brindando al usuario información clara sobre el impacto financiero de ajustar la configuración del equipo según las recomendaciones del sistema. De esta manera, la aplicación no solo permite monitorear el consumo en tiempo real, sino que también proporciona estrategias basadas en datos para mejorar la eficiencia energética del sistema de climatización.

**Figura 22**

*Ventana de análisis predictivo de consumo*



### 3.3.6 Ventana de sistema de alarmas

El sistema de alarmas detecta, registra y almacena eventos relacionados con picos y caídas de voltaje a lo largo del día. Estas alarmas generan notificaciones en tiempo real, permitiendo un monitoreo constante de las irregularidades en el suministro eléctrico y proporcionando la hora exacta de cada incidente. Además, el análisis de estos eventos facilita la identificación de patrones de inestabilidad eléctrica, lo que permite implementar estrategias preventivas y correctivas para minimizar riesgos. Esta funcionalidad es crucial para proteger la integridad de los equipos conectados, optimizar su rendimiento y reducir el impacto de fluctuaciones eléctricas en el consumo energético.

**Figura 23**

*Registro de alarmas*



### 3.4 Análisis de costos

Haciendo uso de una serie de tablas se visualizan los costos totales de cada uno de los elementos necesarios para el sistema.

- **Materiales componente físico**

Tanto para los materiales físicos como componentes electrónicos se hizo una cotización en muchas tiendas especializadas de Guayaquil y finalmente se estableció que los materiales fueran adquiridos en las tiendas físicas Vilconsa y Digital Corp.

**Tabla 5**

*Costo de materiales del componente físico*

Material	Cantidad	Costo (\$)
Cable 14#	50	22
Repetidor Wifi	1	15

Tornillos	12	2.6
<b>Total</b>		<b>39.6</b>

*Nota: Cifras estimadas con base en información disponible en la tienda de tecnología Digital Corp. tecnología*

- **Materiales componentes electrónicos**

**Tabla 6**

*Costo de materiales de componentes electrónicos*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>
Microcontrolador ESP32	2	24
Fuente de Energía	2	7.5
Sensor de corriente	1	3.5
Sensor de voltaje	1	2.6
Sensor de temperatura y humedad	1	3.5
Resistores	5	2.75
Capacitores	2	1.85
<b>Total</b>		<b>43.85</b>

---

*Nota: Cifras estimadas con base en información disponible en la tienda de electrónica Vilconsa.*

- **Costo total**

El desarrollo de la aplicación móvil implica la integración de machine learning, lo que incrementa significativamente su complejidad. En Ecuador, un ingeniero con experiencia puede cobrar hasta \$2500 por una aplicación de esta magnitud, considerando el diseño, implementación y optimización del sistema. Sin embargo, dado que el desarrollo ha sido realizado por un ingeniero en etapa inicial, el costo se reduce a \$1200. Este precio cubre el diseño de la interfaz, la implementación del modelo de machine learning y la integración con la plataforma de monitoreo. Además, contempla pruebas de funcionalidad y optimización para garantizar un rendimiento eficiente.

**Tabla 7**

*Costo total de todos los componentes.*

Materiales del sistema	Costo
Materiales mecánicos	39.6
Materiales electrónicos	43.85
Diseño Ingenieril	205
<b>Total</b>	<b>588.45</b>

- **Mantenimiento anual**

El mantenimiento es fundamental para garantizar el funcionamiento prolongado del sistema. A continuación, se describen en detalle las tareas de mantenimiento necesarias:

calibración del sensor, actualización de la plataforma en la base de datos FireBase y mejora de la aplicación móvil.

- **Calibración del sensor:** Para asegurar mediciones precisas y confiables, el sensor debe ser calibrado periódicamente. Esto minimiza errores y garantiza la calidad de los datos recolectados.
- **Renovación de la plataforma en la nube:** El almacenamiento y procesamiento de datos en la nube requieren suscripciones y actualizaciones que permitan mantener la seguridad, estabilidad y disponibilidad del sistema en todo momento.
- **Actualización de la aplicación móvil:** La aplicación debe mantenerse actualizada para corregir errores, mejorar la experiencia del usuario e incorporar nuevas funcionalidades según las necesidades del sistema. Esto implica costos de desarrollo y pruebas.

Estos costos permiten mantener la operatividad óptima del sistema y garantizar su rendimiento a largo plazo.

**Tabla 8**

*Costo de mantenimiento anual.*

<b>Mantenimiento</b>	<b>Costo (\$)</b>
Calibración del sensor	10
Renovación plataforma en la nube	12.75
Actualización App	220
<b>Total</b>	<b>242.75</b>

# Capítulo 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La implementación de un sistema inteligente de monitoreo ha demostrado ser una solución efectiva para reducir el consumo energético de los aires acondicionados, optimizando el uso de energía en las instalaciones de la empresa TIA.
- El análisis en tiempo real de los patrones de consumo y la identificación de anomalías han permitido reducir costos asociados al mantenimiento y reparaciones de los equipos, incrementando la rentabilidad de las operaciones.

- La integración de machine learning para predecir fallas en los sistemas de climatización ha minimizado riesgos de daños permanentes en los equipos, mitigando los efectos de los apagones y las variaciones de voltaje.
- El sistema desarrollado no solo favorece la eficiencia energética, sino que también respalda los esfuerzos de la empresa por alinearse con estándares internacionales de sostenibilidad y reducir su huella ambiental.
- La implementación de la aplicación móvil ha empoderado al operador encargado, proporcionando herramientas claras y accesibles para el monitoreo y control energético, facilitando la toma de decisiones informadas en tiempo real.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Replicar el sistema de monitoreo en todas las sucursales de TIA a nivel nacional para maximizar los beneficios en eficiencia energética y reducción de costos.
- Invertir en la formación de los operadores y técnicos para asegurar el uso óptimo del sistema, potenciando su capacidad para interpretar datos y actuar de manera proactiva.
- Mantener el sistema y la aplicación móvil actualizados con las últimas tecnologías en inteligencia artificial y gestión energética para asegurar su eficacia a largo plazo.
- Ampliar el alcance del sistema inteligente para incluir el monitoreo de otros dispositivos eléctricos en las instalaciones, maximizando el ahorro energético en todas las operaciones de la empresa.
- Mantener el sistema y la aplicación móvil actualizados con las últimas tecnologías en inteligencia artificial y gestión energética para asegurar su eficacia a largo plazo.
- Explorar la integración del sistema de monitoreo con soluciones de energía renovable, como paneles solares o baterías de almacenamiento, para mejorar la sostenibilidad energética y disminuir la dependencia de la red eléctrica.

## REFERENCIAS

- Chollet, F., & Lieder, I. (2015). *TensorFlow*. Obtenido de <https://www.tensorflow.org/?hl=es-419>
- Duran, R. (2025). La conciencia medioambiental cala en la empresa. *CincoDías*.
- Ecuador, M. d. (2024). *Ministerio de Energía y Minas de Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas de Ecuador: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/INF-DRETSE-2023-041\\_Costos-SPEE-2024.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/INF-DRETSE-2023-041_Costos-SPEE-2024.pdf)
- Edward G. Pita, P. (2001). *Aire acondicionado: principios y sistemas*. Prentice .
- Márquez, J. M. (2010). *Eficiencia Energética en las Instalaciones de Climatización en los Edificios*. Madrid: Ediciones Paraninfo.

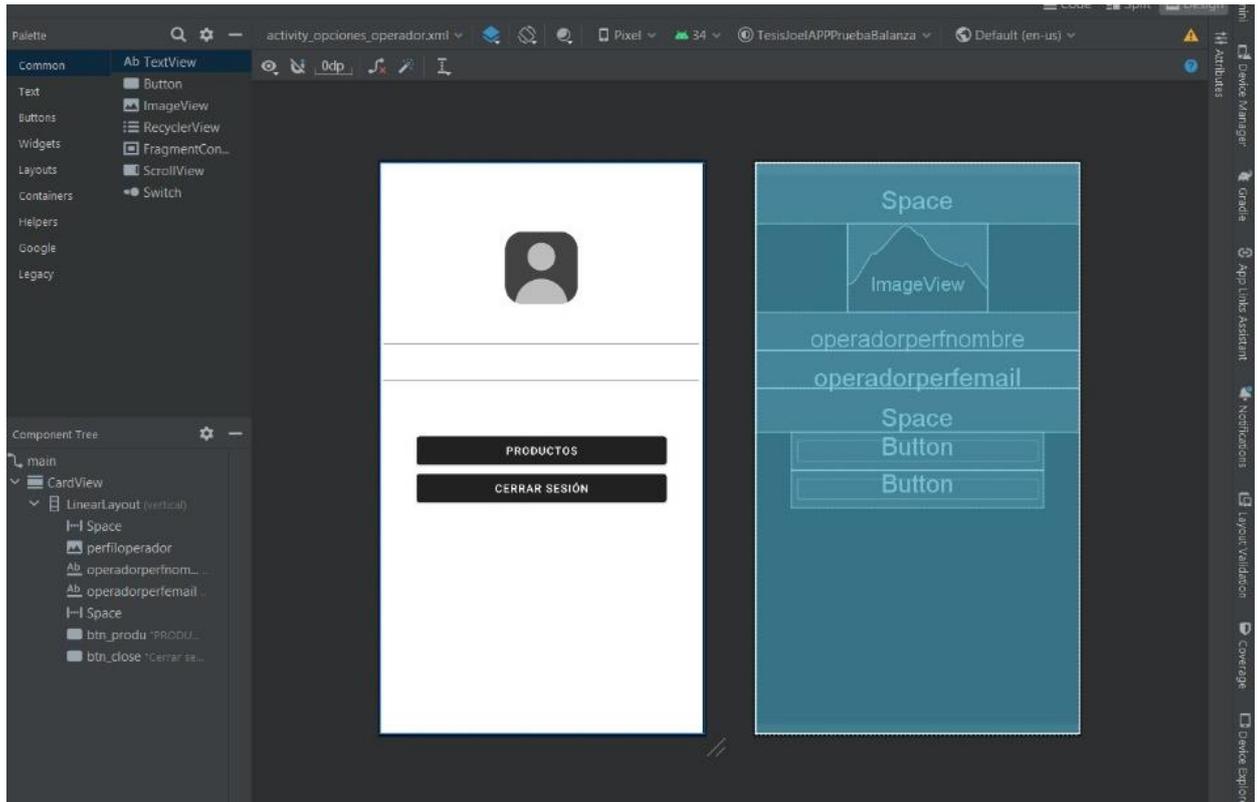
- Morejón, B., Ospino, T., & Santos, S. (2018). *Comportamiento del Consumo Energético del Sistema de Aire Acondicionado para un Edificio de Oficinas en Cuatro Zonas Climáticas de Colombia*. Barranquilla.
- Naturales, S. d. (2011). *Manual de Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado*.
- Punguil, A., Rojas, J., Guillen, M., & Herrera, E. (2024). *Manual de Iniciación en el Uso y Aplicaciones Básicas de la Tarjeta ESP32*. *G-Nerando*, 10-13. Obtenido de <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/254>
- Quito, C. d. (2024). *El camino hacia la sostenibilidad: hoja de ruta para el sector empresarial*. Quito.
- Series, E. (2021). *Espressif System*. Obtenido de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf)
- Systems, E. (2023). *ESP32 series datasheet*. Obtenido de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- Tia, S. (2022). *Sostenibilidad Tia*. Obtenido de <https://sostenibilidad.tia.com.ec/wordpress/wp-content/uploads/2023/06/Memoria-de-Sostenibilidad-TIA-2022.pdf>
- Varela, A. L., & Ron, S. R. (2022). *PUCE*. Obtenido de PUCE: bioweb
- wilson, A. (2023). *Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Bruselas.

# Apéndices

## APÉNDICES

- **Ventana de inicio**

En la figura 1A se observa el diseño de la ventana de inicio del usuario hecho en Android Studio.

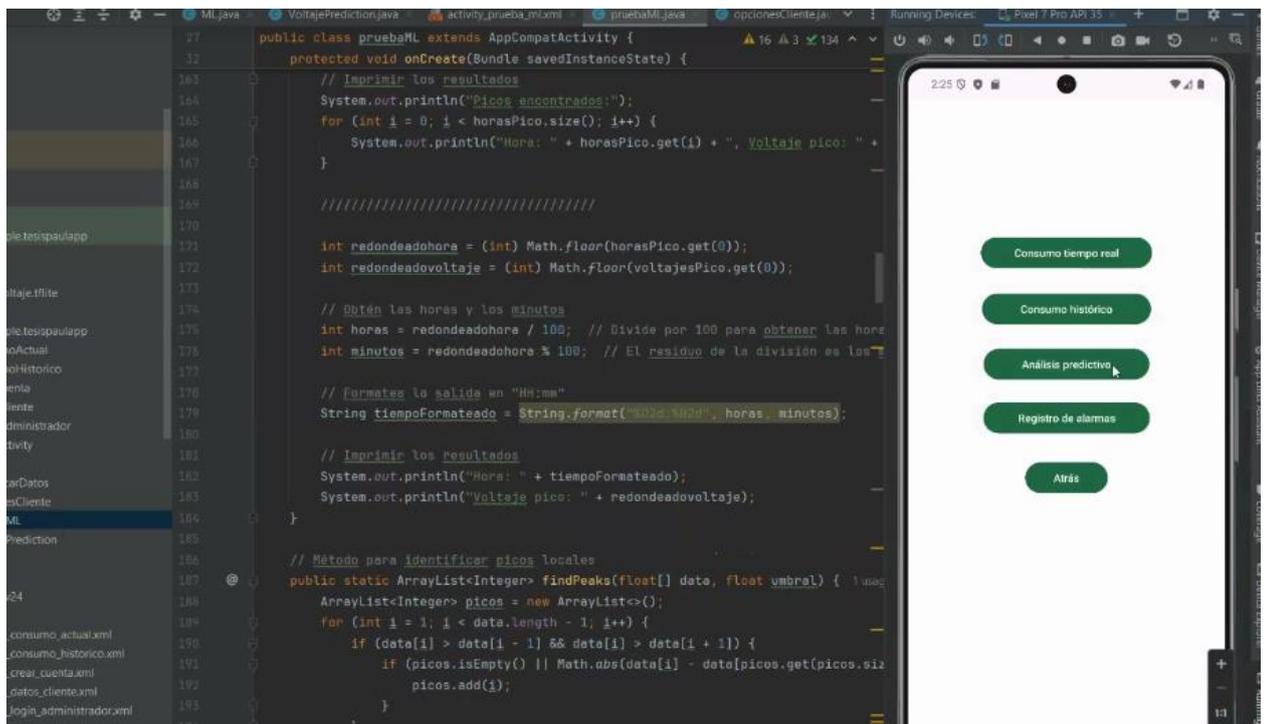


**Figura 1A**

El diseño de la pantalla se estructura utilizando un `LinearLayout`, que organiza los elementos en una columna vertical, proporcionando una disposición clara y sencilla. En la parte superior se encuentra un `ImageView` que muestra la imagen de perfil del operador o un ícono predeterminado, lo que personaliza la interfaz. Debajo de la imagen, se añaden dos `TextViews` para mostrar información relevante del operador, como su nombre y correo electrónico. Entre estos elementos y los botones, se inserta un espacio (`Space`) para separar visualmente las secciones y mejorar la estética. Los botones, uno para acceder a la sección de "Productos" y otro para "Cerrar Sesión", están colocados de forma que facilitan la navegación. Todo el contenido está centrado en la pantalla, lo que contribuye a un diseño limpio y ordenado. Cada componente tiene un identificador único (ID) para poder interactuar con ellos desde el código, permitiendo realizar acciones como abrir nuevas pantallas o cerrar sesión. El diseño es responsivo, lo que asegura que los elementos se

ajusten al tamaño de la pantalla en diferentes dispositivos, manteniendo la interfaz funcional y accesible.

- **Ventana opciones del cliente**



El diseño de la pantalla se basa en un `LinearLayout` o `ConstraintLayout` dispuesto verticalmente, que organiza de manera ordenada cinco botones interactivos. Cada botón tiene un diseño uniforme con bordes redondeados, color verde de fondo y texto blanco centrado, proporcionando una apariencia profesional y consistente. Estos botones están etiquetados con nombres como "Consumo tiempo real" y "Análisis predictivo" para guiar al usuario sobre las acciones disponibles.

El espacio entre los botones es uniforme, lo que mejora la estética y facilita la interacción. Todo el contenido está centrado en la pantalla, asegurando que los elementos sean accesibles de forma intuitiva. Cada botón tiene un identificador único asignado, lo que permite vincularlos a funciones específicas en el código.

El diseño es responsivo, ajustándose automáticamente al tamaño de la pantalla en diferentes dispositivos. La actividad asociada inicializa los elementos en el método onCreate, enlazando los botones a eventos que ejecutan cálculos, muestran datos o cambian de pantalla. La combinación de diseño y funcionalidad asegura una experiencia de usuario clara y eficiente.

- **Conexión a la base de datos**

```
private Interpreter tflite;
private DatabaseReference databaseRef;
private float voltaje, corriente, temperatura, humedad;

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);

    // Inicializar Firebase y cargar el modelo TFLite
    databaseRef = FirebaseDatabase.getInstance().getReference("PruebaTesisPAUL/SensorData");

    try {
        tflite = new Interpreter(loadModelFile());
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
        Log.e("TFLite", "Error al cargar el modelo");
    }

    // Leer los datos en tiempo real
    databaseRef.addValueEventListener(new ValueEventListener() {
        @Override
```

La conexión a la base de datos Firebase se establece utilizando el SDK de Firebase Realtime Database en Android. En el código, primero se define un objeto DatabaseReference que representa la referencia a un nodo específico dentro de la base de datos. Este nodo está configurado para leer y escribir datos de una ruta específica, en este caso "PruebaTesisPAUL/SensorData".

En el método onCreate, se inicializa esta referencia mediante FirebaseDatabase.getInstance().getReference(), lo que asegura la conexión con la base de

datos en la nube. Posteriormente, se configura un `ValueEventListener`, un método de escucha que permite recibir actualizaciones en tiempo real de los datos almacenados en la ruta especificada. Esto significa que cualquier cambio en los datos del nodo "SensorData" se reflejará automáticamente en la aplicación, sin necesidad de realizar consultas repetidas. Además, el código incluye la carga de un modelo TensorFlow Lite (tflite) mediante el uso de un archivo local (`loadModelFile()`), lo que sugiere que los datos recibidos de Firebase podrían ser procesados o analizados utilizando el modelo de machine learning. La estructura del try-catch asegura que, si ocurre algún error al cargar el modelo, se registre en el log para facilitar la depuración.

- **Definición del modelo de la red neuronal**

```
33 # Definir el modelo de red neuronal
34 capa = tf.keras.layers.Dense(units=10, activation='relu', input_shape=[1])
35 salida = tf.keras.layers.Dense(units=1)
36 modelo = tf.keras.Sequential([capa, salida])
37
38 # Compilar el modelo
39 modelo.compile(
40     optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(0.01),
41     loss='mean_squared_error'
42 )
43
44 # Entrenar el modelo
45 print("Comenzando entrenamiento...")
46 historial = modelo.fit(horas_norm, voltajes_norm, epochs=500, verbose=False)
47 print("Modelo entrenado")
48
```

La programación en cuestión entrena un modelo de red neuronal para una tarea de regresión utilizando TensorFlow y Keras. El modelo tiene dos capas: una oculta con 10 neuronas y activación `relu`, y una de salida con una sola neurona para generar un valor continuo. Se utiliza el optimizador Adam con una tasa de aprendizaje de 0.01 y la función de pérdida `mean_squared_error`, adecuada para minimizar el error en problemas de regresión. Durante el entrenamiento, el modelo procesa datos normalizados (`horas_norm` y `voltajes_norm`) a lo largo

de 500 épocas, ajustando sus pesos para mejorar la precisión en las predicciones. Este enfoque es típico para modelar relaciones entre variables numéricas en contextos supervisados.

- **Conexión al archivo de entrenamiento dado por la base de datos**

```
6 # Listas para almacenar los datos
7 horas = []
8 voltajes = []
9
10 # Cargar datos del archivo CSV
11 with open('voltaje_data2.csv', newline='') as csvfile:
12     reader = csv.DictReader(csvfile)
13     for row in reader:
14         # Convertir la hora a entero (sin los ":")
15         hora_entero = int(row['Hora'].replace(":", ""))
16         horas.append(hora_entero)
17
18         # Convertir el voltaje a float
19         voltaje = float(row['voltaje'])
20         voltajes.append(voltaje)
21
22 # Convertir las listas a arrays de numpy
23 horas_array = np.array(horas, dtype=float)
24 voltajes_array = np.array(voltajes, dtype=float)
25
```

Para un correcto aprendizaje de la maquina es necesario tener una cantidad aceptable de datos, para esto la base de datos entrega a los mismos mientras que la programación enfocada al machine learning se encarga de leer datos de un archivo CSV y convertirlos para su uso en un análisis posterior. Primero, define listas vacías llamadas horas y voltajes para almacenar datos. Luego utiliza el módulo csv de Python para abrir y procesar el archivo CSV voltaje\_data2.csv. Con un objeto DictReader, recorre cada fila del archivo. Extrae el valor de la columna "hora", elimina caracteres adicionales como ":", y lo convierte a un entero antes de agregarlo a la lista horas. También toma los valores de la columna "voltaje", los convierte a flotantes y los almacena en la lista voltajes. Finalmente, convierte ambas listas a arreglos NumPy, facilitando operaciones matemáticas y de análisis sobre estos datos.

- **Datos de prueba de voltaje del aire acondicionado**

```
TensorFlow > voltaje_data2.csv > data
1 Hora, Voltaje
2 9:00, 245
3 9:11, 246
4 9:25, 247
5 9:33, 248
6 9:41, 249
7 9:55, 245
8 10:00, 246
9 10:11, 250
10 10:25, 251
11 10:33, 252
12 10:41, 253
13 10:55, 254
14 11:00, 255
15 11:11, 256
16 11:25, 257
17 11:33, 258
18 11:41, 259
19 11:55, 260
20 12:00, 261
21 12:11, 262
22 12:25, 263
23 12:33, 264
24 12:41, 265
25 12:55, 266
26 13:00, 267
27 13:11, 268
28 13:25, 269
29 13:33, 270
```

Los datos mostrados en la Figura 6A muestran una cantidad de datos aceptable para el entrenamiento de la máquina, esto a su vez da inicio al entrenamiento de la máquina mediante el siguiente código.

```

30 horas_norm = (horas_array - horas_min) / (horas_max - horas_min)
31 voltajes_norm = (voltajes_array - voltajes_min) / (voltajes_max - voltajes_min)
32
33 # Definir el modelo de red neuronal
34 capa = tf.keras.layers.Dense(units=10, activation='relu', input_shape=[1])
35 salida = tf.keras.layers.Dense(units=1)
36 modelo = tf.keras.Sequential([capa, salida])
37
38 # Compilar el modelo
39 modelo.compile(
40     optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(0.01),
41     loss='mean_squared_error'
42 )
43
44 # Entrenar el modelo
45 print("Comenzando entrenamiento...")
46 historial = modelo.fit(horas_norm, voltajes_norm, epochs=500, verbose=False)
47 print("Modelo entrenado")
48
49 # Predecir voltajes en un rango de horas y buscar picos
50 horas_pred = np.linspace(horas_min, horas_max, 1000)
51 horas_pred_norm = (horas_pred - horas_min) / (horas_max - horas_min)
52
53 predicciones_norm = modelo.predict(horas_pred_norm)
54 predicciones = predicciones_norm * (voltajes_max - voltajes_min) + voltajes_min
55

```

Una vez que el modelo ha sido entrenado se procede a convertirlo a formato. “tflite”, este archivo generado es el que se utilizará en la aplicación móvil.

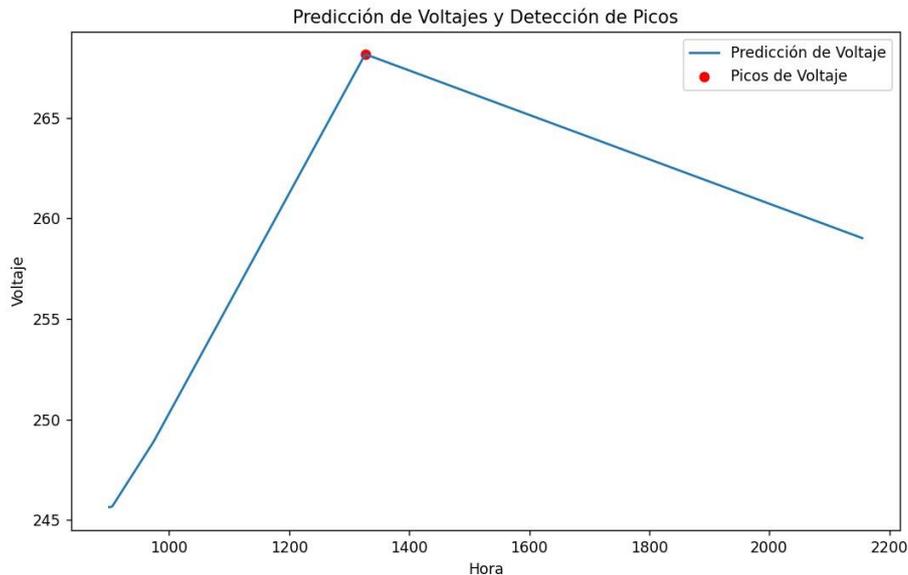
Finalmente, a modo de prueba se puede observar cómo se genera una gráfica con el dato de la predicción realizada

- **Gráfico de entrenamiento de machine learning**

```

84 plt.figure(figsize=(10, 6))
85 plt.plot(horas_pred, predicciones, label="Predicción de Voltaje")
86 plt.scatter(horas_pico, voltajes_pico, color='red', label="Picos de Voltaje")
87 plt.xlabel("Hora")
88 plt.ylabel("Voltaje")
89 plt.legend()
90 plt.title("Predicción de Voltajes y Detección de Picos")
91 plt.show()

```



Finalmente, se presenta un gráfico que ilustra el comportamiento de la predicción para el día siguiente. En el gráfico se observa un pico de 275 V, el cual podría ocasionar fallas graves y daños irreversibles en el aire acondicionado. Es importante destacar que los valores del eje X representan las horas del día en formato de miles (por ejemplo, 1300 corresponde a las 13:00 h), mientras que el eje Y muestra los valores del voltaje registrado.