

# **SISTEMA DE MONITOREO, DIMENSIONAMIENTO Y ESTUDIO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**Bryan Andrés López Guerrero**

Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ingeniería Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2024



# **SISTEMA DE MONITOREO, DIMENSIONAMIENTO Y ESTUDIO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**Bryan Andrés López Guerrero**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero Electrónico**

Director:

MSc, Ing. Carlos Javier Mojica Casallas

Codirector:

MSc, Ing. Jaime Vitola Oyaga

Modelado-Electrónico-Monitoreo (MEM)

Línea de Investigación: Energías

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Bogotá, Colombia

2024

**Autoridades de la universidad**

**RECTOR GENERAL**

Fr Álvaro Jose ARANGO RESTREPO, O.P

**VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL**

Fr Hernan Yesid RIVERA ROBERTO, O.P

**VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL**

Fr Mauricio Antonio CORTES GALLEGO, O.P

**SECRETARIO GENERAL**

Dra. LUCERO GALVIS CANO

**DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

Fr Javier Antonio HINCAPIE ARDILA, O.P

**SECRETARIA DE DIVISIÓN**

E.C LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

**DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

ING. CARLOS ANDRES TORRES PINZON

Nota de aceptación

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
Firma del tutor

-----  
Firma del jurado

-----  
Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. \_\_\_\_\_ DE 2024

## **ADVERTENCIA**

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

***Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.***

*A mis padres por su apoyo, a mi tío por sus consejos  
a mis amigos por esos momentos inolvidables  
a mi mentor por siempre guiarme y a  
mi hermana y novia por aguantarme.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi madre, Marisela, por su apoyo incondicional; a mi padre, Aurelio, por fortalecerme. A mi primo Fabian por sus consejos que me animaron a continuar, a mis amigos, Laura, Jorge, Duván, Nicolas, Andrés, Lesmes, Diego, y a todos aquellos que me respaldaron en este recorrido, dejando una huella perdurable en mi vida; a mi tío Ladino por su sabia educación que siempre me inspiro a soñar en grande; a mi hermana, Emmily, por su constante presencia; a mi novia, Majo, por su inmenso amor, a mi mentor Carlos Mojica, por no permitirme caer y guiarme siempre de la mejor manera; y a todas aquellas personas que formaron parte de este proyecto, brindándome ayuda, apoyo y, sobre todo, creyendo en mí.

## Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>X</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	15
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo General.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos .....	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Impacto Social.....	17
<b>2. Estado del Arte.....</b>	<b>19</b>
<b>3. Marco Teórico.....</b>	<b>25</b>
3.1. Variables Meteorológicas .....	25
3.1.1. Radiación Solar .....	25
3.1.2. Angulo de radiación .....	25
3.1.3. Temperatura .....	26
3.1.4. Velocidad del viento.....	26
3.1.5. Densidad del aire .....	26
3.1.6. Presión atmosférica.....	26
3.2. Sensores Meteorológicos.....	27
3.2.1. Panel Solar .....	27
3.2.2. Anemómetro .....	27
3.2.3. Psicrómetro.....	27
3.3. Energía Solar .....	28
3.4. Energía Eólica .....	28
3.5. Consumo eléctrico.....	29
3.5.1. Factor de conversión .....	29
3.6. Reconocimiento de imagen.....	29
3.6.1. Redes Neuronales.....	29
3.6.1. Procesamiento de imágenes .....	30

<b>4. Diseño Metodológico</b> .....	<b>31</b>
4.1. Fases y Metodología .....	31
4.1.1. Identificar las variables de decisión .....	31
4.1.2. Propuesta de Hardware a implementar .....	31
4.1.3. Propuesta de software a implementar .....	32
4.1.4. Validación de sistema .....	32
<b>5. Desarrollo Conceptual</b> .....	<b>33</b>
5.1. Selección de la estación meteorológica. ....	33
5.2. Desarrollo de comunicación. ....	34
5.3. Desarrollo de software para el análisis de datos. ....	36
5.4. Integración del sistema .....	37
<b>6. Resultados y Discusión</b> .....	<b>40</b>
6.1. Energía Eólica .....	40
6.2. Energía Solar .....	44
<b>7. Conclusiones y Trabajos futuros</b> .....	<b>53</b>
7.1. Conclusiones .....	53
7.2. Trabajos Futuros .....	54
<b>8. Anexos</b> .....	<b>55</b>
8.1. Anexo 1: Imagen de la estación meteorológica empleada .....	55
8.2. Anexo 2: Fotografía de la implementación para la captura de datos .....	55
8.3. Anexo 3: Estructura MVC .....	56
8.4. Anexo 4. Diagrama de clases de la base de datos .....	56
8.5. Anexo 5: Ventana del Dashboard .....	57
8.6. Anexo 6: Ventana de métricas .....	57
8.7. Anexo 7: Código .....	58
<b>9. Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>83</b>

## Resumen

**Contexto:** Es imperativo integrar fuentes de energía renovable en el suministro energético, ya que la falta de conocimiento limita su adopción. Para abordar esta situación, se propone un sistema centrado en la energía eólica y solar, proporcionando información detallada y personalizada sobre estas tecnologías según las condiciones locales. Este proyecto residencial permitiría a cualquier usuario tomar decisiones informadas, allanando el camino hacia una transición eficaz y sostenible en el panorama energético. La implementación de este sistema no solo aumentaría la conciencia sobre las energías renovables, sino que también facilitaría la transición hacia un modelo energético más respetuoso con el medio ambiente.

**Método:** El desarrollo del sistema propuesto se llevó a cabo en tres fases. En la primera fase, se seleccionó una estación meteorológica basándose en criterios de costos y facilidad de uso, con el objetivo de obtener variables climáticas cuantificadas. La segunda fase comprendió un software capaz de analizar estas variables meteorológicas, facilitando un análisis guiado para la selección de energías no convencionales en un predio. Por último, se estableció la conexión de comunicación entre la estación meteorológica y el software.

**Resultados:** El sistema propuesto tiene la capacidad desde su parte física de recopilar información mediante diferentes sensores, lo que permite la creación de un historial de variables meteorológicas en una base de datos. Al calcular estas variables junto con el consumo eléctrico de un predio específico, se genera una comparación entre la viabilidad de la energía eólica y solar. Adicionalmente, el software ofrece la oportunidad de que el usuario visualice los datos y resultados obtenidos. Es importante destacar que tanto la parte física como la parte de software están interconectadas de manera efectiva, facilitando una integración accesible para el usuario.

**Conclusiones:** La investigación referencial y bibliográfica fue esencial para el desarrollo del sistema, al proporcionar la base para seleccionar y comprender variables clave. Aunque la estación meteorológica no capta todas las variables para la generación solar, ecuaciones y modelos llenaron esos vacíos. La conexión entre la estación y una inteligencia artificial facilita la lectura de datos, así como el software que compara eficazmente energía eólica y solar, ofreciendo al usuario información clave para decisiones sostenibles. Por último, la comparación destaca la constancia de la energía solar frente a la variabilidad eólica, así como la validación del sistema que, respaldada por la coherencia entre resultados prácticos y teóricos, confirma su funcionamiento, promoviendo así la transición hacia fuentes renovables más estables.

**Palabras clave:** Energía renovable, Estadística, Meteorología.

## Abstract

**Context:** It is imperative to integrate renewable energy sources into the energy supply, as a lack of knowledge hinders their adoption. To address this situation, a system focused on wind and solar energy is proposed, providing detailed and personalized information about these technologies based on local conditions. This residential project would enable any user to make informed decisions, paving the way for an effective and sustainable transition in the energy landscape. The implementation of this system would not only increase awareness of renewable energies but also facilitate the transition to a more environmentally friendly energy model.

**Method:** The development of the proposed system took place in three phases. In the first phase, a meteorological station was selected based on cost and ease of use criteria, with the aim of obtaining quantified climatic variables. The second phase involved the creation of software capable of analyzing these meteorological variables, facilitating a guided analysis for the selection of unconventional energies on a property. Finally, the communication connection between the meteorological station and the software was established.

**Results:** The proposed system has the capability, from its physical component, to gather information through various sensors, enabling the creation of a database with a history of meteorological variables. By calculating these variables along with the electrical consumption of a specific property, a comparison is generated regarding the feasibility of wind and solar energy. Additionally, the software provides the user with the opportunity to visualize the collected data and results. It is important to note that both the physical and software components are effectively interconnected, facilitating user-friendly integration.

**Conclusions:** The reference and literature research was crucial for the system development, providing the foundation to select and comprehend key variables. Although the meteorological station doesn't capture all variables for solar generation, equations and models filled those gaps. The connection between the station and artificial intelligence facilitates data reading, and the software effectively compares wind and solar energy, providing users with essential information for sustainable decisions. Finally, the comparison highlights solar energy's consistency versus wind variability, and the system's validation, supported by coherence between practical and theoretical results, confirms its functionality, promoting the transition to more stable renewable sources.

**Keywords:** Renewable Energy, Statistics, Meteorology.

## Lista de Figuras

<b>Figura 4.1. Metodología a seguir.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 5.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5.2. Funcionamiento de captura de datos.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 5.3. Funcionamiento del sistema para lectura de datos.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5.4. Esquema de integración del sistema.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 5.5. Contraste de datos.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 6.1. Relación de energía generadas.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 6.2. Cantidad de energía generada.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 6.3. Análisis realizado por el software.....</b>	<b>52</b>

## Lista de Tablas

<b>Tabla 4.1. Fase de la Metodología.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4.2. Cronograma de actividades.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5.1. Funcionamiento de captura de datos.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5.2. Esquema de la integración del sistema.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 6.1. Relación de energías generadas.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 6.2. Cantidad de energía generada.....</b>	<b>46</b>

## Glosario

**Meteorología:** Entiéndase como la ciencia que estudia los fenómenos climáticos con respecto a la tierra.

**Sistema energético:** Es el conjunto de procesos tecnológicos para así posibilitar la distribución de energía eléctrica a lugares específicos.

**Estadística:** Es la rama de la matemática que se encarga de analizar datos para generar métodos de decisión.

**Redes neuronales:** Modelos computacionales basados en el funcionamiento neural del humano para el desarrollo de inteligencia artificial.

**Energía renovable:** También conocidas como energías no convencionales son aquellas ambientalmente sostenibles.

**Energía cinética:** Es aquella energía que se obtiene a partir del movimiento de objetos.

**Eólico:** Tipo de energía que se obtiene a partir de la fuerza del viento.

**Radiofrecuencia:** Tipo de comunicación inalámbrica que se establece mediante ondas electromagnéticas.

**Hora civil:** Formato de 24 horas para medir el tiempo.

**IEA:** Agencia Internacional de Energía.

**ODS:** Metas de Desarrollo Sostenible.

**EPOC:** Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

**OCR:** Reconocimiento Óptico de Caracteres.

# 1. Introducción

## 1.1. Planteamiento del Problema

Según la Agencia Internacional de Energías (IEA) para el 2019 la mayor fuente de generación de energía a nivel mundial fue el carbón con un indicador de 35.7 TJ (Tera Jules), seguido del petróleo y el gas natural, que alcanzaron valores de 26.9 TJ y 22.8 TJ respectivamente. De acuerdo con estas cifras, la IEA afirma que el carbón suministra gran parte del abastecimiento energético mundial, así como un panorama poco alentador; la dependencia actual hacia los combustibles fósiles en pleno siglo XXI deja secuelas importantes en cuanto al cambio climático y la contaminación por la extracción, transporte y operación con combustibles [1].

Si bien las fuentes no convencionales como la energía solar y eólica permiten mitigar el factor de emisión en comparación a los procesos tradicionales de generación de energía eléctrica y no representan un impacto negativo al medio ambiente en sus procesos de captación energética, si presentan impactos ambientales en el proceso de fabricación de los dispositivos de captación [2].

Además, cuando se habla de energías limpias como las energías eólica y solar, es importante tener en cuenta las variables meteorológicas como radiación solar, temperatura y las características del viento. El aprovechamiento de estos parámetros varía dependiendo del sistema de energía no convencional a utilizar, por lo tanto, la implementación de un sistema de energía limpia en un lugar geográficamente no apto para el aprovechamiento del sistema energético puede afectar las expectativas de producción de energía.

Las energías renovables se establecen como tendencia mundial hacia la transición energética, convirtiéndose en la bandera de la política actual. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento y desinformación a la hora de la instalación y operación, algunos sectores poblacionales dudan sobre qué tipo de energía usar, cuál representa mayores beneficios y menores costos de implementación, así como las variables negativas anteriormente enunciadas.

A partir de este problema, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo desarrollar un sistema de recomendación que facilite la selección de equipo necesario entre las energías solar, eólica o combinado a partir de información suministrada por una micro estación meteorológica y el consumo de red eléctrica para una solución específica?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Desarrollar una solución que facilite la selección y diseño de una fuente de energía renovable (entre eólica y solar) mediante el uso de información eléctrica de consumo y meteorológica para predio y aplicación específica.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar mediante una revisión bibliográfica las variables de decisión en la selección entre energía eólica y solar para unas condiciones meteorológicas y de consumo eléctrico específicos.
- Diseñar una solución para la adquisición de las variables eléctricas y ambientales pertinentes.
- Desarrollar un programa que, a partir de la información obtenida de las variables meteorológicas y eléctricas, infiera la mejor alternativa de fuente de energía renovable dentro de los alcances del presente proyecto, para una solución específica.
- Validar la solución propuesta mediante la verificación de su correcto funcionamiento aplicado en un ambiente restringido tipo residencial.

## **1.3. Justificación**

Es necesario aportar como individuos y como sociedad a la reducción de la contaminación y la transición a energías limpias, cambiando las fuentes convencionales que tantos problemas a nivel global han causado (calentamiento, contaminación, enfermedades, muerte). Una de esas estrategias es implementar sistemas de captación que funcionen con fuentes de energía no convencionales como lo es la energía solar y la eólica, que durante su funcionamiento pueden reducir 600 kg de CO<sub>2</sub> por cada MW/h generado [3].

Esto podría contribuir a las metas propuestas por cada país en sus políticas verdes: el desarrollo tecnológico y el progreso, que se ve manifestado en la mejora de la calidad de vida de las personas apuntando a tres objetivos de desarrollo sostenible: (1) Energía asequible y no contaminante (ODS 7), (2) ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y (3) acción climática (ODS 13) [4]. Por este motivo, es necesario investigar sobre las energías limpias, en este caso la eólica y la solar, para desarrollar un programa que con la información almacenada en una base de datos meteorológicos, pueda sugerir la tecnología de captación que mejor

se ajuste a las condiciones climáticas de la zona y así mismo, los elementos que componen a esa tecnología (paneles, turbinas, etc.).

Por último, aterrizando este proyecto al ámbito académico, uno de los principales impactos será fortalecer las líneas de investigación referentes a la energía eléctrica aplicada a la conservación del medio ambiente, así mismo, convertirse en una línea de investigación robusta tanto en la profundización investigativa como en las mejoras sobre lo ya existente.

#### **1.4. Impacto Social**

El desarrollo de este proyecto tendrá diversos impactos, abarcando aspectos sociales, ambientales y económicos. Contribuirá de manera eficaz a la transición energética global, fortaleciendo aún más las líneas de estudio para el diseño y construcción de tecnologías que operan con energías limpias.

En el contexto de la industria del petróleo y sus derivados, considerada una de las más contaminantes según el informe de la agencia Thomson Reuters [5], el impacto social futuro de este proyecto estará dirigido a todas las comunidades que participen e implementen sus soluciones. Especialmente, las comunidades cercanas a las zonas de sistemas de generación de energía limpia experimentarán beneficios significativos, destacándose la mejora en la calidad de vida al eliminar la presencia de material particulado y otros factores de emisión asociados a la obtención de energía. La eliminación de la práctica de combustiones fósiles en el sector industrial y vehicular servirá como premisa para la disminución de casos de enfermedades respiratorias, incluyendo la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en comunidades cercanas a estos puntos de producción [5].

Entre los beneficios a futuro, se espera una mejora en la eficiencia energética al adquirir y operar sistemas de captación de energía solar y eólica. Esto resultará en una significativa reducción proyectada de 8.4 millones de toneladas de emisiones de  $CO_2$  al año, según el informe [5], al evitar la liberación de contaminantes a la atmósfera. Las energías limpias y renovables sustituirán gradualmente a las fuentes convencionales, contribuyendo así a combatir el calentamiento global y el cambio climático [6].

A largo plazo, este proyecto tendrá un impacto económico positivo. La fuerza de las políticas verdes en los gobiernos futuros se reflejará en incentivos adicionales para las empresas que contribuyan a la transición energética y reducción de contaminación. Además, se espera una menor vulnerabilidad frente a las fluctuaciones de precios de la energía, junto con la generación de empleo. Las viviendas que adopten energías limpias, combinadas con políticas gubernamentales, contribuirán económicamente mediante la inyección de energía a la red eléctrica en implementaciones parciales, como sistemas híbridos entre energía limpia y convencional.

Asimismo, a nivel académico, en el futuro este proyecto continuará generando un impacto significativo en la Universidad Santo Tomás. Fortalecerá aún más las líneas de profundización en investigación e innovación relacionadas con las energías no

convencionales y temas afines, representando un valioso aporte al grupo de investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo).

## 2. Estado del Arte

La transición del uso de combustibles fósiles a combustibles amigables con el medio ambiente es una de las más grandes metas propuestas a nivel mundial, debido a que es necesario realizar cambios para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y aminorar los impactos del cambio climático que han sido potenciados por el uso de fuentes de energía convencionales.

Esto ha llevado a que se diseñen estrategias, tecnologías y metodologías que trabajen con energía solar o eólica para cumplir con esta meta y que, de acuerdo con el informe del año 2021 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) generaron más del 10% de la electricidad global en ese año [7].

Lo mencionado anteriormente, influye en todo lo relacionado a los procesos productivos, forjando motores de cambio en los nuevos y actuales modelos económicos, un ejemplo de ello, son la economía circular que es regenerativa, restaurativa y tiene como objetivo que tanto productos, materias y componentes conserven su valor y utilidad en su máxima expresión a lo largo del tiempo [8].

Una de estas estrategias es la implementación de sistemas de captación de energía solar y/o eólica en las viviendas o edificios para sustituir las fuentes convencionales, como lo hizo la Universidad Católica en Bogotá (en su sede ubicada en la localidad de Chapinero) donde se realizó una comparación entre el consumo de la energía eléctrica vs el consumo de energía solar de un edificio de oficinas que contaba con el apoyo de una red de generación fotovoltaica que constaba de 78 paneles solares que aportaron más del 40% en ahorros de consumo total de la edificación [9].

Por otro lado, en un estudio para un ambiente doméstico, en Guayaquil, Ecuador, se realizó un programa piloto en una vivienda, donde se evidenció que existe un 20% de ahorro energético por cada electrodoméstico ubicado en el predio. También se pudo concluir que las horas más potentes del día estaban en el rango de las 10 de la mañana a las 3 de la tarde y para mejorar su operación y funcionamiento, lo mejor era evitar las fuentes de humedad [10].

En esta misma ciudad, pero en la zona rural, se realizó un estudio que planteaba la posible implementación de un sistema de paneles solares en una hacienda que no contaba con fluido eléctrico, teniendo como resultados la necesidad de comprar 10 paneles solares, 20 baterías y 2 reguladores, para poder abastecer 13 bombillos, una nevera, una licuadora, un televisor de 21" y un radio. Adicionalmente, se realizó el presupuesto total para la primera inversión (implementación del sistema en casa) que alcanzó los 17.200 dólares. Si bien es cierto que la inversión inicial es alta, los costos de mantenimiento y operación del sistema son bajos a comparación del primero, por ello, también diseñaron un mecanismo de financiamiento con diferentes entidades gubernamentales como la

Corporación Financiera Nacional (CFN). Por último, se realizó la comparación entre los costos para acceder a la red eléctrica convencional y al sistema fotovoltaico, que arrojó un ahorro de 27.000 dólares en un año al implementar el segundo sistema [11].

Así mismo, en la ciudad de Latacunga, se realizó el diseño e instalación de un sistema híbrido, entre energía solar y eólica para una casa comunal, donde se utilizó un sólo panel y un aerogenerador que podían abastecer potencias pico de 445W, representados en 254W para el aerogenerador y 191W para el panel [12].

En el caso de Perú, para la localidad de Quinuabamba - Pomabamba - Ancash, se diseñó un sistema de energía eólica para abastecer a 20 casas que tenían un consumo total de 30.744 kW al año, lo que llevó a establecer un número de 5 aerogeneradores, 12 baterías con capacidad de 250 A y dos inversores, que en conjunto podían satisfacer las necesidades de la comunidad [13].

Nuevamente en el contexto nacional, en Aquitania, Boyacá, se diseñó un sistema eólico para la generación de energía eléctrica que abastecía a 17 viviendas con demandas de 2072 Wh/día, se logró con el apoyo de 3 aerogeneradores, 96 baterías con capacidad de 150 A, un inversor, entre otros componentes. Dando como resultado, una inversión de 95'344.891 pesos colombianos [14].

Centrando los estudios y ampliando la mirada hacia el contexto mundial, en Estados Unidos la capacidad instalada y conectada para la generación de energía eólica, produce un total de 132.738MW diferenciados entre 132.696MW para la producida de forma terrestre y 42MW en el mar [15]. De la misma forma, para la energía solar se generan 95.209MW según datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) para el año 2021, que se ven diferenciadas entre 93.713MW para fotovoltaica y 1.496MW para la térmica [15].

Se destacan 5 estados con el mayor número de proyectos generadores de energía a partir de la radiación solar: Texas, Nevada, California, New York y Virginia, que cuentan con 45, 21, 22, 14 y 18 proyectos respectivamente, donde las inversiones ascienden a 36 billones de dólares [16].

De acuerdo con la empresa Airswift, se enlistan los cinco mejores proyectos solares en Estados Unidos:

1. *Pecan Prairie Solar Project*, ubicado en el estado de Texas, desarrollado por la empresa ConnectGen con capacidad instalada para generar 500MW, que abastecen a 50.000 viviendas aproximadamente, su construcción fue realizada en el año 2021 y desde este año se encuentra operando [17].
2. *Golden Triangle Solar Energy Centre*, ubicado en Mississippi, desarrollado por la empresa Origis Energy, generaría 200MW que abastecería a 45.920 viviendas y reduciría un estimado de 225.120kg en emisiones de Carbono. Se espera que finalice su construcción en octubre de este año [18].

3. *Sunflower Solar PV Farm*, una granja solar ubicada también en Mississippi, diseñada por la empresa Recurrent Energy, generaría 100MW que abastecerían a 16.000 viviendas, durante la construcción se generaron 365 vacantes de empleo y se espera que inicie su operación este año [16].
4. *Commonwealth Solar Project*, ubicado en Pennsylvania, este proyecto tiene como objetivo producir 220MW, fue diseñado por la empresa Community Energy Inc y abastecerá a la Universidad de Pennsylvania que firmó un contrato a 25 años para comprar la energía generada. La construcción de este proyecto inició en 2021 y se espera que entre en operación en 2023 [16].
5. *Happy Solar Park*, Ubicado en Arkansas, este proyecto tiene una capacidad instalada para generar 132MW que abastecerían a 21.400 viviendas, en construcción y próximamente en operación por parte de la empresa Lightsource BP, la energía será vendida a la empresa Conway Corporation y se espera que se finalice la construcción a finales de este año [16].

Por último, de acuerdo con el Gobierno Federal, se encontraron numerosos proyectos que fueron financiados por el Departamento de Energías de este país, entre ellos, se destacan tres:

1. *Dessert Sunlight*, Ubicado en California, tiene la capacidad de generar 550MW, los dueños del proyecto son las empresas NextEra, General Electric y Sumitomo of America, se considera como una de las plantas solares más grandes en el mundo. Inició sus operaciones en el año 2015, creó 550 vacantes de empleo durante su construcción y puede evitar hasta 614.000 Ton en emisiones de dióxido de Carbono anualmente [19].
2. *Agua caliente*, Ubicado en Arizona, diseñado por Global Infrastructure Partners y MidAmerican Renewables, LLC, genera 290MW, opera desde el año 2014, creó 400 vacantes de empleo durante su construcción y reduce 312.000 Ton de emisiones de dióxido de Carbono por año [20].
3. *California Valley Solar Ranch*, genera 250MW, opera desde octubre del año 2013 por la compañía Global Infrastructure Partners, es el primero que cuenta con un sistema de control y monitoreo de rastreadores inalámbricos y reduce 370.000Ton de emisiones de dióxido de Carbono anuales [21].

Al igual que la energía solar, la energía eólica está presente en el país, específicamente en los estados de Wyoming, New Mexico, Texas, New York y Massachusetts, con presencia de 10, 8, 26, 18 y 6 proyectos respectivamente, ascendiendo a cifras de inversión de 57 billones de dólares [22].

Entre los 5 mejores proyectos según AirSwift se encuentran los siguientes:

1. *Vineyard Wind 1*, Se encuentra ubicado en Massachusetts, con capacidad de generación de 800MW, abasteciendo a 400.000 viviendas, fue diseñada, financiada y en construcción por el Gobierno Norteamericano y se espera, reducirá 1.6 millones de Toneladas en las emisiones de dióxido de carbono anuales cuando inicie su operación en 2023 [23].
2. *Ocean Wind*, Ubicado en New Jersey, tiene la capacidad para generar 1.100MW que abastecería a 500.000 viviendas, diseñado por la empresa Ørsted en conjunto con Public Service Enterprise Group (PSE&G) y se espera que opere en 2024 [24].
3. *South Fork Wind*, Ubicado en New York, tiene una capacidad de generar 132MW para abastecer 70.000 viviendas, está a cargo de las empresas Ørsted y Eversource, se espera que su operación inicie a finales de 2023 [25].
4. *Revolution Wind*, ubicado en Massachusetts, tiene la capacidad para producir 704MW que abastecerían a 350.000 viviendas, está a cargo de Ørsted y Eversource y se espera que opere en 2025 [26].
5. *Atlantic Shores Offshore Wind Farm*, ubicado en New Jersey, tiene una capacidad de 2.5GW que abastecería a 700.000 viviendas, fue diseñada por las empresas Shell New Energies y EDF Renewables North America. Se espera que en el año 2027 inicie sus operaciones [27].

Para las financiaciones estatales, se tienen tres proyectos principales:

1. *Shepherds Flat*, Ubicado en Oregon, genera 845MW, inició sus operaciones en el año 2012 por parte de la empresa Caithness Energy LLC, creó 400 vacantes de empleo y reduce 1 millón de toneladas al año en emisiones de dióxido de Carbono [28].
2. *Granite Reliable*, ubicado en New Hampshire, genera 99MW desde febrero de 2012 a cargo de las empresas BAIF Granite Holdings y Freshet Wind Energy, creó 198 vacantes, y reduce 130.000 Ton de emisiones de dióxido de Carbono al año [29].
3. *Record Hill*, ubicado en Maine, genera 51MW iniciando en 2012 sus operaciones a cargo de la empresa Record Hill Wind y la Universidad de Yale, creó 200 vacantes y evita 56.000 Ton de emisiones de dióxido de Carbono al año [30].

Adicional a los proyectos mencionados anteriormente, es necesario establecer que las variables meteorológicas son parte fundamental para el correcto funcionamiento de estos sistemas (por ejemplo, la radiación solar) ya que, sin esta, no es posible generar energía fotovoltaica o térmica. Realmente, el 100% de

la radiación no se absorbe por la superficie terrestre solo un aproximado del 50% y de toda la energía generada, el 30% se refleja al espacio en un fenómeno conocido como albedo planetario [31]. Adicionalmente, esta variable se ve seriamente afectada por la nubosidad, posición y altura del sol en el lugar donde se implemente el proyecto [32].

Por otro lado, para la generación de energía eólica, se tiene en cuenta la densidad del viento, ya que hace más realista el posible escenario para la implementación de proyecto cuando se realizan los cálculos y porque en temas de diseño, permite escoger cuál de todos los aerogeneradores es más apto para suplir las necesidades del proyecto y alcanzar las metas propuestas partiendo de la base que la densidad es una variable directamente proporcional al empuje en el rotor, es decir, a mayor densidad, mayor empuje, lo que permite generar más energía [33].

Para ambos tipos de energía, se deben considerar aspectos económicos, donde se vean incluidos costos de planeación, construcción, mantenimiento y operación, así como los costos evitados al implementar sistemas más amigables con el medio ambiente y los costos sociales [34]. La administración de Información de Energía de Estados Unidos realizó estudios sobre estos costos y desarrolló un modelo que puede generar los valores correspondientes con ayuda de proyecciones y demás deducciones matemáticas, estos estudios fueron: el costo normalizado de la electricidad (CNE) y el costo normalizado de la electricidad evitado en el proyecto de generación (CNEE). Propusieron un tercero, el costo social normalizado de la electricidad, pero este va asociado a las condiciones socioeconómicas de la población beneficiada y a la ubicación geográfica del proyecto, lo que amplía el número de variables y estudios previos necesarios para hacer una estimación, siendo este, un análisis más profundo y particular por cada proyecto [35]. Estos valores son necesarios para hacer estudios de viabilidad y así, tomar decisiones para inclinarse por una fuente de energía o plantear un sistema híbrido.

A continuación, en la tabla 1, se muestran los costos estimados de la energía en dólares americanos (US\$/MWh), para plantas que se encuentren en fase de operación en 2022, donde se logra evidenciar que, para la energía solar y eólica, los costos son menores a comparación de los combustibles fósiles. Figura 1. Figura: tomada de Energy Information Administration [36].

	CNE 2022			CNEE 2022	CNE 2040	CNEE 2040
	Mínimo	Promedio	Máximo	Promedio	Promedio	Promedio
Carbón	\$ 129.90	\$ 139.50	\$ 162.30	\$ 61.10	\$ 125.80	\$ 63.60
Gas natural ciclo combinado convencional	\$ 53.40	\$ 58.10	\$ 67.40	\$ 61.00	\$ 57.60	\$ 64.00
Gas natural ciclo combinado con tecnología de captura de carbono	\$ 78.00	\$ 84.80	\$ 93.90	\$ 61.00	\$ 81.10	\$ 64.40
Viento	\$ 43.00	\$ 64.50	\$ 78.50	\$ 56.50	\$ 58.80	\$ 58.80
Viento en altamar	\$ 137.10	\$ 158.10	\$ 213.90	\$ 61.20	\$ 133.70	\$ 64.60
Solar	\$ 65.60	\$ 84.70	\$ 126.20	\$ 67.10	\$ 65.50	\$ 70.70

Tabla 2.1. comparativa en costos entre las combustiones fósiles. Fuente [37]

Otra variable para comparar la eficiencia y los escenarios de cada energía es el factor de planta. Este, es la relación entre la energía que se produce y la energía que podría producir a máxima capacidad durante un tiempo en específico [37].

En el caso de las plantas fotovoltaicas, este factor se puede medir en corriente alterna o en corriente directa. Para la corriente alterna no se pueden alcanzar valores mayores al 50% ya que en la noche no hay incidencia de la luz solar y, es necesario tener en cuenta la ubicación geográfica del parque solar y la disposición de los paneles, si son puestos para seguir al sol o son fijos [37]. Para el caso de Estados Unidos, en promedio, el factor de planta estuvo rondando el 24% para el año 2021 [38].

En el caso de la energía eólica, se tiene en cuenta que la capacidad máxima de la turbina empieza cuando el viento alcanza velocidades entre 12 a 25m/seg, pero, al igual que los parques solares, es necesario conocer la zona geográfica, ya que no siempre se cuentan con velocidades de esa magnitud [37]. En Estados Unidos, se contó con el factor promedio de 35% para el 2021 [38].

### 3. Marco Teórico

#### 3.1. Variables Meteorológicas

Las variables meteorológicas son características físicas medibles de la atmósfera terrestre, capturadas mediante sensores especializados. Se utilizan instrumentos específicos para obtener datos precisos, facilitando la comprensión detallada de las condiciones atmosféricas.

##### 3.1.1. Radiación Solar

Entiéndase por radiación solar la cantidad de energía emitida por el sol en un lugar específico, denominada en unidades de vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La ecuación para calcular esta variable meteorológica hay que tener en cuenta ley de radiación de Stefan-Boltzmann.

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Considerando en la ecuación anterior, E es la radiación total emitida,  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ), T es la temperatura absoluta del objeto en kelvins (K)[41].

##### 3.1.2. Angulo de radiación

En líneas generales, la radiación solar depende de la posición del sol con respecto al planeta tierra. La cantidad de energía solar emitida varía a lo largo del día en función de la elevación solar, ya que los rayos solares pueden emitir más o menos energía según su posición en el transcurso del día.

$$\sin(\beta) = \sin(\theta) * \sin(\delta) + \cos(\theta) * \cos(\delta) * \cos(h) \quad (2)$$

La ecuación mostrada anteriormente es aquella mediante la cual se determina la elevación solar, donde  $\delta$  representa la declinación solar,  $\theta$  es la latitud geográfica, y h es el ángulo horario. Teniendo en cuenta lo anterior, se dice que la declinación solar es la ubicación del sol con respecto a la línea ecuatorial y varía a lo largo del año. Para calcularla, se emplea la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que N es el día del año [41].

$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (N + 10)\right) \quad (3)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere considerar el ángulo horario ( $h$ ), que indica la posición del sol en relación a las 12:00 p.m. (mediodía). Para calcular este ángulo, se emplea la siguiente ecuación.

$$h = 15 * (t_{solar} - 12) \quad (4)$$

A tener en cuenta en la ecuación anterior está el tiempo solar verdadero  $t_{solar}$ . Con estos valores, se puede determinar el ángulo de radiación ( $\theta$ ) empleando la relación mostrada.

$$\theta = 90 - \beta \quad (5)$$

Asimismo, es necesario destacar que el ángulo de radiación puede verse afectado por el bloqueo de nubes u obstáculos que obstruyan la radiación.

### 3.1.3. Temperatura

Una de las variables más conocidas y comunes es la temperatura; esta medida se utiliza generalmente para medir la intensidad del calor en las partículas del aire. Existen tres unidades de medida: grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) o Kelvin (K).

### 3.1.4. Velocidad del viento

La velocidad del viento siempre va a variar, ya sea ligeramente o significativamente. Esta medida se expresa mediante la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado. En términos de física, la medición se da en metros por segundo (m /s).

### 3.1.5. Densidad del aire

Cuando se aborda la densidad del aire, se hace referencia a la cantidad de masa presente en un volumen específico de aire. Por ende, esta magnitud se expresa en unidades de kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Para calcular la densidad del aire, se utilizará la ecuación del gas ideal.

$$PV = nRT \quad (6)$$

En la ecuación mencionada, donde P es la presión atmosférica, n es la cantidad de sustancia, R representa la constante de los gases ideales y T es la temperatura en unidades de kelvins, se procede a reorganizar la fórmula para expresarla en términos de la densidad del aire ( $\rho$ ).

$$\rho = P/RT \quad (7)$$

Asimismo, hay que tener en cuenta que la constante de gases ideales es 8.314 joules por mol-kelvin ( $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  [42]).

### 3.1.6. Presión atmosférica

Entiéndase por presión atmosférica la fuerza ejercida por la atmosfera en lugares del planeta tierra, esta variable se da en pascales (Pa) y cabe resaltar que esta varía dependiendo la latitud del lugar, es decir, la presión puede variar teniendo como referencia la altura que tiene Bogotá sobre el nivel del mar versus la presión atmosférica que, ejemplo, se ejerce sobre Santa Marta.

## **3.2. Sensores Meteorológicos**

En el mundo actual, la variedad de sensores es extensa, cada uno diseñado con propósitos específicos. Entre ellos, los sensores meteorológicos juegan un papel fundamental en el análisis climático y el estudio de energías renovables, ya que estas últimas están directamente vinculadas con las condiciones climáticas.

Estos sensores capturan datos importantes como la velocidad del viento, la temperatura, la humedad atmosférica, la radiación solar y otras variables climáticas. La información recopilada por estos dispositivos es esencial para comprender los patrones climáticos, anticipar cambios en las condiciones atmosféricas y evaluar la viabilidad de proyectos de energía renovable.

### **3.2.1. Panel Solar**

El panel solar no es considerado un sensor meteorológico en sí mismo. Sin embargo, debido a que aprovecha la energía solar para convertirla en energía eléctrica (esto a través de células compuestas por semiconductores), también puede recopilar datos que ayudan a caracterizar el comportamiento del sol en un lugar determinado. Estos datos pueden incluir información sobre la radiación solar, el tiempo de radiación, entre otros aspectos relacionados con las condiciones de luz solar.

### **3.2.2. Anemómetro**

Este sensor se implementa para medir la velocidad del viento. Consiste en tres hélices, cada una con una copa en la punta, que capturan el viento cuando sopla. Este dispositivo gira en círculos, y la velocidad de giro depende de la fuerza con la que sopla el viento, permitiendo así cuantificar su velocidad. Generalmente, en las estaciones meteorológicas, las unidades de medida son kilómetros por hora.

### **3.2.3. Psicrómetro**

El principal objetivo de este dispositivo es medir la humedad del aire. Consta de dos termómetros, uno con un bulbo seco para captar la temperatura del aire y otro con un bulbo húmedo que, a diferencia del primero, registra una temperatura más baja debido a la evaporación del agua en su entorno. La distinción entre las lecturas de los dos termómetros se utiliza para determinar la humedad.

### 3.3. Energía Solar

Cuando hablamos de energía solar, nos referimos a la energía suministrada por el sol. Esta energía se convierte en electricidad para el uso cotidiano mediante paneles solares, siendo una de las formas más sostenibles de energía, ya que el sol es una fuente inagotable. Sin embargo, su aprovechamiento se limita a unas 8 a 14 horas diarias, dependiendo de la estación climática. Cabe destacar que en países como Colombia, se puede contar con un suministro solar de alrededor de 12 horas diarias.

La energía solar desempeña un papel crucial en la sostenibilidad climática, siendo una de las fuentes renovables más eficientes y con un costo razonable en comparación con la cantidad de energía producida. Para calcular la generación de energía solar, se puede utilizar la fórmula de la ley de Beer-Lambert, también conocida como la ley de absorción [42].

$$E_{solar} = A * R * \cos(\theta) * \eta \Delta t \quad (8)$$

Teniendo en cuenta la fórmula anterior, donde A es el área del panel solar,  $\theta$  es el ángulo de radiación,  $\eta$  es la eficiencia del panel, y R es la radiación solar incidente, se puede resolver la ecuación para calcular la energía solar generada no sin antes aclarar que el delta de tiempo es periodo de tiempo en el cual se calculó este valor de energía.

### 3.4. Energía Eólica

Este tipo de energía, a diferencia de la energía solar, aprovecha la energía cinética generada por el movimiento del viento. Esta se obtiene mediante el uso de aerogeneradores, los cuales cuentan con aspas con una forma semi plana curvada. Cuando el viento sopla, estas aspas comienzan a girar, y la turbina asociada aprovecha la energía cinética generada para producir energía eléctrica.

La energía eólica es considerada una energía limpia, ya que no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, a diferencia de los paneles solares, la energía eólica tiende a ser un poco más costosa y su viabilidad depende en líneas generales de la ubicación estratégica de los parques eólicos, ya que estos están directamente vinculados a la disponibilidad del viento. La ecuación para modelar la generación de energía eólica suele basarse en la fórmula de la potencia cinética del viento [42].

$$E_{eolica} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * \eta \Delta t \quad (9)$$

Teniendo en cuenta la ecuación anterior, es necesario considerar que, A es el área efectiva barrida por las aspas del generador eólico.  $\rho$  es la densidad del aire, V es la velocidad del viento,  $\eta$  es la eficiencia del generador eólico. La ecuación modela la potencia cinética del viento capturada por las aspas del generador eólico y es

fundamental para entender cómo la velocidad del viento y el área barrida afectan la generación de energía eólica.

### 3.5. Consumo eléctrico

La energía eléctrica es una necesidad y costumbre del mundo moderno. El consumo eléctrico es la cantidad consumida por un dispositivo que requiera de esta, en un periodo determinado (siendo su unidad de medida los kilovatios-horas (kW/h)). Tener conocimiento sobre este dato es importante no solo en términos económicos sino también para mirar la gestión de redes eléctricas, ya puede que el sistema necesite mejorar. La ecuación para el cálculo consta de potencia por el tiempo en termino de horas expresado de la siguiente manera.

$$kW/h = kW * h \quad (10)$$

#### 3.5.1. Factor de conversión

Enlace esencial que conecta la energía consumida con la energía generada, proporcionando así un medio para determinar el porcentaje de contribución de la energía generada con respecto al consumo energético. Este parámetro es crucial en el ámbito de las energías limpias, ya que facilita un análisis de viabilidad en comparación con diversos métodos de generación de energía sostenible. Esta relación de conversión, al inicio de cualquier análisis, ofrece una perspectiva clara sobre la eficiencia y la capacidad de aporte de la fuente de energía en consideración, esta se da en valor de porcentaje.

$$FC = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía consumida}} * 100 \quad (11)$$

### 3.6. Reconocimiento de imagen

Considerada una rama de la inteligencia artificial, su objetivo es enseñar a las máquinas a reconocer imágenes de manera visual. Esto implica que la máquina tiene que aprender a identificar todas las características a considerar en una imagen que se visualice en ese momento. Esta herramienta fue muy útil al momento de establecer la conexión de comunicación del sistema, ya que es un método sencillo, eficiente y de bajo costo.

#### 3.6.1. Redes Neuronales

Las redes OCR (Optical Character Recognition) son especializadas en la conversión de imágenes de texto, ya sea impreso o manuscrito, a texto legible en lenguaje de máquina. Utilizan clasificadores multicapa MLP, avanzadas formas de redes neuronales artificiales, diseñadas para emular la capacidad del cerebro humano en el procesamiento de información y aprendizaje de patrones complejos. Estos clasificadores constan de múltiples capas de nodos interconectados que procesan la

información de entrada, siendo esenciales para interpretar y reconocer patrones específicos en imágenes que contienen texto.

La tarea principal del reconocimiento óptico de caracteres es abordar el desafío de reconocer patrones correspondientes a caracteres en imágenes, adaptándose a la diversidad de fuentes, tamaños y estilos de texto. Al emplear clasificadores multicapa MLP, estas redes pueden aprender de manera efectiva y lograr una mayor precisión en la conversión de información visual a datos digitales. Este enfoque permite una eficiente extracción de características, identificación de patrones y asignación de caracteres reconocidos, culminando en la conversión exitosa de imágenes de texto a texto legible en lenguaje de máquina.

Para la implementación de la red neuronal mencionada se emplea Tesseract OCR, desarrollada por Google como un motor de reconocimiento de caracteres. Es de código abierto y su principal función es convertir imágenes de texto en archivos de texto editables. Se puede utilizar como librería en diversos lenguajes de programación como Java, Python, etc. Principalmente fue desarrollado en C++. Cabe resaltar que, a pesar de que se puede usar como una librería, es necesario instalar el software en el ordenador.

### **3.6.1. Procesamiento de imágenes**

El análisis y manipulación de imágenes a través de diversos procesos informáticos permite extraer información valiosa según el objetivo específico del procesamiento de la imagen. Entre las múltiples técnicas utilizadas, el filtrado es una herramienta esencial que se encarga de reducir el ruido en la imagen, mejorando así su calidad y facilitando la identificación de detalles importantes. Además, el reconocimiento de patrones es otra técnica fundamental que se concentra en identificar objetos específicos o estructuras en la imagen, lo que resulta crucial en aplicaciones como visión por computadora, análisis médico y sistemas de reconocimiento visual.

Estas técnicas de procesamiento de imágenes abren un amplio abanico de posibilidades para diversas aplicaciones, permitiendo no solo mejorar la calidad visual de las imágenes, sino también extraer información valiosa que puede ser utilizada en áreas como la inteligencia artificial, la investigación médica, el desarrollo de vehículos autónomos y más.

## 4. Diseño Metodológico

### 4.1. Fases y Metodología

Para el desarrollo del proyecto siguiente y para cumplir con los objetivos planteados, fue necesario seguir la ruta mostrada en la figura 4.1.

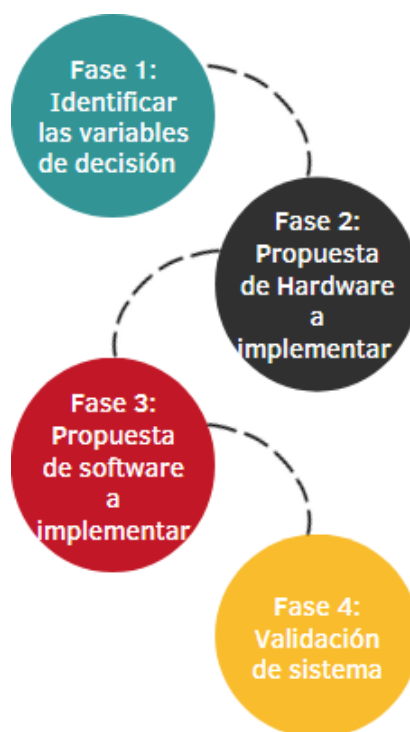


Figura 4.1. Fases de la Metodología

La ejecución de cada una de las fases planteadas es esencial para el desarrollo del proyecto.

#### 4.1.1. Identificar las variables de decisión

En una primera instancia, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las diversas variables, tanto energéticas como climáticas, con el propósito de reconocer, analizar e implementarlas. Esto se hizo con el ánimo de ofrecer soluciones o propuestas sobre qué tecnología utilizar y dónde ubicarlas. La finalidad era proporcionar una solución estratégica y contribuir de manera eficiente y satisfactoria tanto a la transición energética como a la población involucrada.

#### 4.1.2. Propuesta de Hardware a implementar

Dando finalidad con éxito a la fase anterior, se inició la propuesta de un hardware, que consistía en una recopilación de datos climáticos y una conexión inalámbrica. Este hardware procesaba los datos captados y los enviaba a un servidor con algoritmos capaces de estudiar las condiciones climáticas de un lugar específico. El propósito era generar estadísticas para orientar al usuario sobre qué energía limpia usar. Esto se debía a que los sistemas de captación que emplean la energía eólica y solar aprovechan las condiciones climáticas.

#### **4.1.3. Propuesta de software a implementar**

Finalizada la segunda fase, se desarrolló la propuesta de un software con la capacidad de leer los datos enviados por el hardware al servidor. El objetivo era analizar estos datos para generar un histórico y una estadística, permitiendo calcular la mejor alternativa. Se estimó el dimensionamiento necesario de turbinas eólicas o paneles solares requeridos.

#### **4.1.4. Validación de sistema**

Realizadas las etapas anteriores, se procedió a validar el sistema. Se implementó una comunicación entre el programa y el servidor, donde el hardware enviaba datos con el propósito de establecer una comunicación fluida entre hardware y servidor, y luego entre servidor y software, minimizando la posibilidad de errores. Además, se validó que el hardware realizara de manera exitosa la lectura de las diferentes variables, y el software fuera capaz de analizar estos datos recopilados. De esta manera, se buscaba proporcionar una solución satisfactoria al usuario.

## 5. Desarrollo Conceptual

Se procedió al desarrollo de cada una de las fases planteadas en la metodología para la realización del sistema propuesto, el cual consta de todas las fases interconectadas, como se muestra en la Figura 5.1.

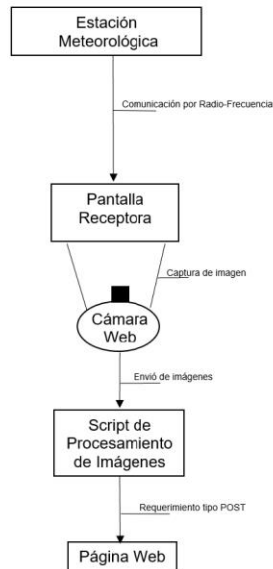


Figura 5.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto. Fuente: Elaboración Propia

### 5.1. Selección de la estación meteorológica.

La estación meteorológica desempeña un papel fundamental en este proyecto al proporcionar la cuantificación de las condiciones climáticas en un lugar específico durante un período de tiempo determinado. Se realizó una comparación de tres estaciones meteorológicas cuyas referencias fueron:

1. RX3004: Tiene un costo elevado y su principal obstáculo es la adquisición de datos, ya que funciona de manera alámbrica. Además, su tamaño es bastante invasivo, lo cual representa un problema especialmente en predios con áreas reducidas debido a la dificultad para ubicarla en lugares estratégicos.
2. Raddy L7: Es una estación meteorológica completa diseñada con fines industriales. Se comunica a través de red Wi-Fi, ampliando su rango de comunicación y capturando más de 10 variables meteorológicas. Esto facilita un análisis más completo del clima en el campo. Sin embargo, su precio elevado dificulta su accesibilidad.

3. FJ3390A: Captura las variables climáticas esenciales y se destaca por tener un bajo costo, siendo esta una de las principales razones por las que se selecciona esta estación meteorológica para este proyecto. (Ver anexo 1)

Este dispositivo seleccionado multifuncional permite al usuario acceder a diversas variables climáticas esenciales, tales como presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, humedad y temperatura, entre otras. La estación se conecta a una pantalla externa mediante comunicación de radiofrecuencia a 433.92 MHz, con un rango de transmisión de hasta 100 metros en áreas descubiertas. La recepción de la señal se realiza a través del método de modulación de amplitud en clave de desplazamiento (ASK).

La estación meteorológica cuenta con una pantalla externa la que se encarga de procesar cada 30 segundos la información enviada por los sensores. Cabe destacar que cada sensor incorpora un ID único de comunicación para evitar la interferencia de datos, garantizando la integridad y precisión de la información recopilada, y de esta manera, poder identificar que pantalla envía el dato al sensor.

El análisis de datos climáticos realizado por la pantalla es esencial en el campo de las energías renovables ya que estas dependen directamente del suministro climático). En este caso solo se emplearán las variables de temperatura, velocidad del viento y presión atmosférica. Con esta información específica, se llevarán a cabo los cálculos necesarios para determinar las variables restantes a través del software desarrollado. Esta selección de variables se ha realizado estratégicamente para abordar de manera efectiva los aspectos relevantes relacionados con la generación de energía renovable y su viabilidad en el lugar específico.

## **5.2. Desarrollo de comunicación.**

Establecer la comunicación entre la estación y el software es importante para que este último tenga acceso a la información de las variables meteorológicas suministrada por la estación. Para poder establecer la comunicación se adapta una cámara web para que esté permanentemente enfocada en la pantalla de visualización de la estación meteorológica, donde se visualiza la información climática (ver anexo 2). Posteriormente, se establece la comunicación de la cámara con un código en Python que utiliza la biblioteca OpenCV para el procesamiento de imágenes. Este código permite capturar la imagen completa del monitor.

Una vez que se ha capturado la imagen completa, se procede a dividirla en tres imágenes más pequeñas, cada una de las cuales está constantemente observando áreas específicas de los datos que se utilizan. Esta división se realiza aprovechando la representación de la imagen como una matriz, lo que facilita la extracción de tres subimágenes al definir áreas de interés dentro de dicha matriz.

Esta estrategia de división de la imagen en secciones más pequeñas permite un monitoreo eficiente y continuo de las variables climáticas de interés, optimizando el procesamiento de la información para su posterior análisis y utilización en el sistema propuesto. En la siguiente figura se explica a grandes rasgos el funcionamiento de la captura de datos.

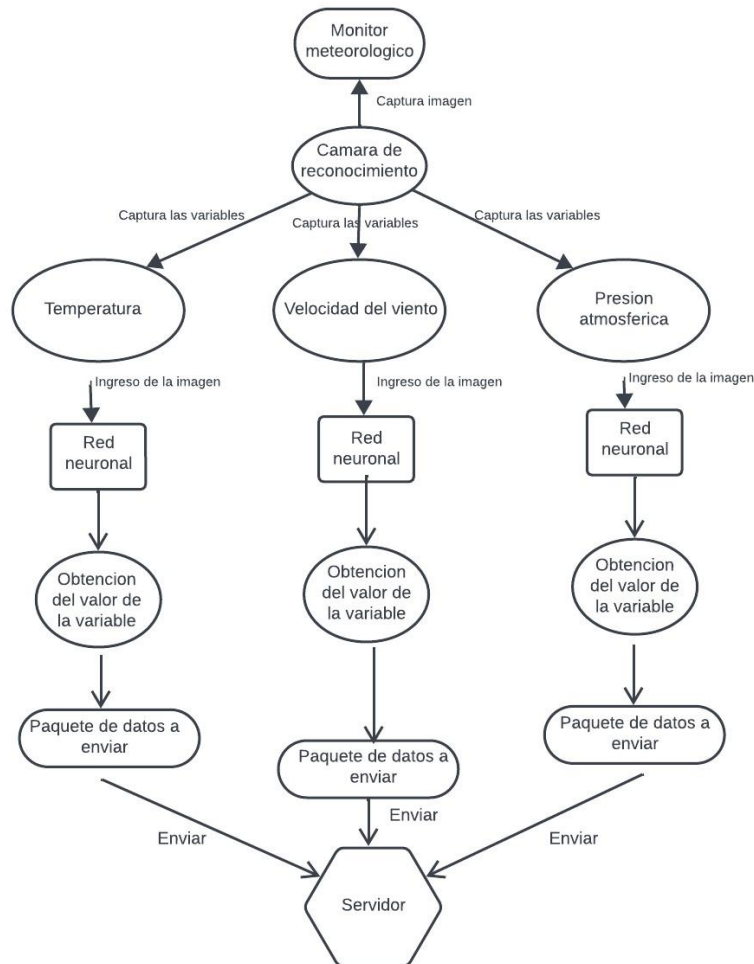


Figura 5.2. Funcionamiento de captura de datos. Fuente: Elaboración propia

Luego, estas tres imágenes son ingresadas a una red neuronal (el código implementado para esta red neuronal no es desarrollado por el autor de este trabajo, por tanto, se entrega la fuente y el nombre del autor en la bibliografía, fuente [45]), la cual procesa la imagen con el objetivo de obtener un valor de texto. Seguido de ello, se crea la estructura del paquete de texto tipo JSON para enviarlo al servidor de la página web. Este paquete se envía a través del protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol), mediante una solicitud de tipo POST. La figura 5.3 muestra el diagrama de la funcionalidad del sistema empleado para la lectura de información brindada por la estación meteorológica.

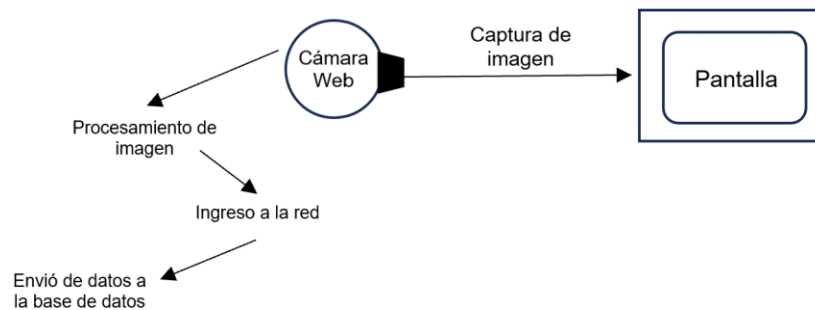


Figura 5.3. Funcionamiento del sistema para la lectura de datos. Fuente: Elaboración propia.

La red neuronal implementada se comparó con otra red neuronal (Fuente: [46]). Esta es neuronal pre-entrenada tiene el mismo objetivo que la red implementada, que es reconocer el texto de las imágenes y proporcionar la información en caracteres. Sin embargo, esta red neuronal presenta problemas, ya que no solo reconoce letras. Al momento de reconocer números, los interpreta incorrectamente, asignándoles caracteres como "wnp" y otros, en lugar de reconocerlos como números. Esto complica la extracción de datos y dificulta el análisis posterior.

Sin embargo, el sistema de reconocimiento óptico de caracteres implementado con la librería Tesseract, al momento de reconocer dígitos como el 7, los interpreta como una F, y dígitos como el 1 los interpreta como una l. Es por ello que realicé una condición para que, siempre que reconociera estos valores, los reemplazara por el dígito correcto. De esta manera, se logra obtener el dígito correcto.

### 5.3. Desarrollo de software para el análisis de datos.

El programa desarrollado desempeña un papel crucial al ofrecer una solución integral para la adquisición y gestión de datos relacionados con variables eléctricas y meteorológicas. Su estructura, desarrollada en PHP y respaldada por una base de datos MySQL, permite un despliegue local eficiente mediante el paquete que entrega XAMPP. La arquitectura del programa se basa en un controlador principal y ocho modelos, cada uno diseñado para gestionar aspectos específicos, como administración de usuarios, categorías de productos, clientes, datos meteorológicos, pagos, productos, usuarios y roles.

El modelo de administrador se encarga de gestionar los usuarios con acceso al dashboard, mientras que el modelo de categoría proporciona flexibilidad al permitir la adición de nuevas categorías según las necesidades del proyecto. La información detallada de clientes y productos se almacena en modelos

específicos, facilitando la gestión de datos relacionados con transacciones y productos disponibles. Además, el modelo de datos aborda la recopilación de información clave de la estación meteorológica, esencial para el análisis de viabilidad de la energía renovable.

El controlador principal dirige la navegación entre diversas vistas, desde la visualización de inicio hasta la lista de productos, brindando a los usuarios una experiencia intuitiva y eficiente. La inclusión de vistas informativas sobre la empresa y educación sobre energías renovables reflejan el compromiso con la transparencia y la conciencia ambiental. Finalmente, el Dashboard, reservado para administradores, ofrece una visión detallada de las variables climáticas y la viabilidad de las energías renovables, respaldada por un histórico de datos. (Ver anexo 3 y 4).

El desarrollo del software no solo proporciona una plataforma funcional sino que también sienta las bases para futuras mejoras y ampliaciones, consolidando su importancia en la gestión sostenible de la información eléctrica y climática.

Entiendo lo explicado anteriormente. En este caso, la estación meteorológica captura datos de temperatura, presión atmosférica y velocidad del viento. Estos datos son recopilados por el comunicador, que realiza cálculos para obtener variables adicionales (radiación solar, ángulo de radiación y densidad del aire). Luego, este comunicador envía un paquete de datos en formato JSON a través de una solicitud tipo POST.

En la página web, al recibir los datos, los almacena junto con la fecha y hora correspondiente. Cuando el usuario desea visualizar el dashboard, esta carga el histórico de datos del último mes y genera gráficas que representan el comportamiento climático. Además, en la misma vista, se muestra el resultado del cálculo necesario para obtener una predicción de la energía obtenida a lo largo del tiempo. Esto permite comparar y recomendar el tipo de energía no convencional más adecuada para utilizar. (Ver anexo 5 y 6).

#### **5.4. Integración del sistema**

Para la integración del sistema, como se mencionó en partes anteriores, fue necesario implementar la estación meteorológica que se comunica inalámbricamente, utilizando radiofrecuencia como se explicó anteriormente. Esta estación realiza una actualización de datos cada 30 segundos. Dicho lo anterior, la siguiente parte es el software, el cual realiza un almacenamiento de toda su infraestructura, incluidos los datos proporcionados por la estación meteorológica a través de una comunicación inalámbrica.

Para lograr esta comunicación, se utilizó una cámara web para captar la imagen de la pantalla donde se visualizan las variables climáticas suministradas por la

estación. Posteriormente, se realiza un procesamiento de imágenes para interpretarla como una matriz y extraer tres imágenes que corresponden a la ubicación de los datos necesarios del monitor. Luego, cada una de estas imágenes se pasa por una red neuronal que permite el reconocimiento de texto a partir de imágenes. La salida de esta red neuronal es un valor numérico en forma de texto, que se consolida en un paquete de texto tipo JSON. Se realiza una solicitud de tipo POST a un servicio web, el cual envía los datos.

Finalmente, la página web se encarga de recibir esos datos cada 4 horas y computarlos de manera que encuentre los valores de las variables climáticas faltantes (Angulo de radiación, radiación solar, y densidad del aire). Este análisis de viabilidad se realiza para determinar el uso de energía renovable, ya sea eólica o solar, mediante un cálculo a partir de la información meteorológica recibida, utilizando las ecuaciones antes vistas. La figura 5.3 muestra la parte fundamental del software, es decir, el funcionamiento del dashboard, el cual se encarga del análisis de datos para el dimensionamiento pertinente.

Este proceso integral de captura, procesamiento, reconocimiento, consolidación y envío de datos permite una integración efectiva entre la estación meteorológica y el sistema de análisis de energía renovable. La implementación de la cámara web y la red neuronal agrega una capa de automatización y precisión al sistema, mejorando su funcionalidad y eficiencia. Este enfoque tecnológico ofrece un método avanzado para la recopilación y análisis de datos meteorológicos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas en el campo de las energías renovables. La siguiente imagen muestra la integración del sistema. Figura 5.4.

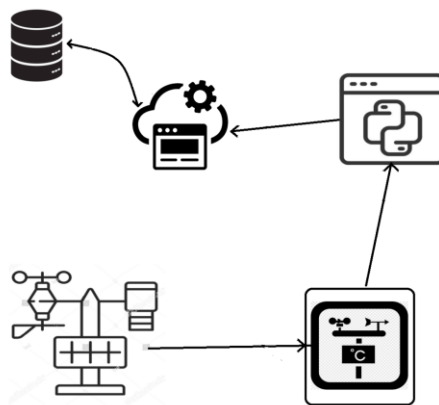


Figura 5.4. Esquema de la integración del sistema. Fuente: Elaboración Propia

Para verificar la información capturada por la estación meteorológica y contrastarla con los datos enviados al software de análisis de datos, se comparan los datos visualizados en la pantalla con la información que registra el software al mismo tiempo. En la figura 5.5 se visualizan las dos pantallas.



## Solar



## Eolica



Figura 5.5. Contraste de datos. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Resultados y Discusión

Una vez desarrollado el sistema propuesto para el análisis, se inicia la recopilación de datos con el fin de realizar un dimensionamiento adecuado y comparar la información obtenida por el sistema con los cálculos matemáticos. Esta fase también tiene como objetivo validar que los resultados se estén generando de manera exitosa y coherente con las expectativas previas.

### 6.1. Energía Eólica

Partiendo de la base de datos, que cuenta con más de veinte mil registros, se selecciona aleatoriamente un valor para calcular de manera teórica la energía eólica con base en las variables climáticas capturadas. En este contexto, se obtiene un valor de energía eólica de 0.017241 W/h, considerando condiciones climáticas de 5 km/h de velocidad del viento, una presión atmosférica de 742 hPa y una temperatura de 17 grados Celsius. Es importante destacar que este valor corresponde a los datos tomados en un intervalo de 1 segundo.

Dado este escenario, se procede a calcular la densidad del aire, que es el único dato faltante no obtenido de la estación meteorológica. Para ello, se utiliza la ecuación 7, como se muestra en el marco teórico.

$$\rho = P/RT \quad (12)$$

Para desarrollar la ecuación anterior, se tiene en cuenta que P es la presión atmosférica, R corresponde al valor de los gases ideales (8.314 J/(mol·K)), y T es la temperatura, siendo esta última en kelvins. Dado que se tiene la temperatura en grados Celsius, es necesario convertirla a kelvins sumando 273.15 a la temperatura obtenida por el sistema propuesto.

$$T_{Kelvin} = 17 + 273.15 \quad (13)$$

$$T_{Kelvin} \approx 290.15 K \quad (14)$$

Obtenida la temperatura en kelvins, se multiplica el valor dado por 100, ya que la presión atmosférica se debe expresar en pascal (Pa), y el valor captado por el sistema está en hectopascales (hPa). Dado que 1 hPa es equivalente a 100 Pa, esta multiplicación garantiza que la presión atmosférica se encuentre en términos de pascales.

$$P = 742hpa * 100 \quad (15)$$

$$P = 74200 Pa \quad (16)$$

Ya obtenida la temperatura en kelvin y las otras variables proporcionadas por el sistema, procedemos a reemplazar y calcular.

$$\rho = \frac{74200 \text{ Pa}}{8.314 \text{ J (mol} \cdot \text{K)} * 290.15 \text{ K}} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{74200}{2410.0521} \approx 30.77 \text{ mol/m}^3 \quad (18)$$

Teniendo en cuenta el resultado anterior, se calcula teóricamente la densidad del aire de  $30.77 \text{ mol/m}^3$ , mientras que el sistema arrojó un valor de  $30.7257 \text{ mol/m}^3$ . Esto indica que el margen de error entre los cálculos teóricos y los obtenidos por el sistema es de  $0.14\%$ , validando así la precisión del sistema en la estimación de la densidad del aire.

Una vez obtenida la densidad del aire, se cuentan con todos los parámetros climáticos necesarios para calcular la energía eólica en un intervalo de 1 segundo. Para ello, consideramos la ecuación mostrada anteriormente.

$$E_{eolica} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * \eta \Delta t \quad (19)$$

Para la ecuación, es necesario tener en cuenta diversos parámetros, incluyendo dos variables climáticas:  $\rho$ , que hace referencia a la densidad del aire, y  $V$ , que corresponde a la velocidad del viento. Además, se incorporan variables relacionadas con el generador eléctrico, donde  $A$  se refiere al área efectiva del barrido de las palas del generador eólico, y  $\eta$  representa la eficiencia del mismo. Estos parámetros son esenciales para calcular de manera precisa la energía eólica generada en un instante específico.

Considerando lo anterior, se procede a calcular el valor del área efectiva del barrido de las aspas del generador, teniendo en cuenta que el propósito de este sistema es el uso residencial, se considerarán los generadores más pequeños disponibles en el mercado. Dicho esto, esta especificación se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$A = R^2 * \pi \quad (20)$$

La ecuación 20, nos muestra que para el cálculo de área de barrido de las aspas es la longitud de estas al cuadrado por pi. Ahora se reemplaza y calcula la ecuación.

$$A = 2^2 * 3.1415 \quad (21)$$

$$A = 12.56 \text{ m}^2 \quad (22)$$

Dado que es crucial proporcionar la velocidad del viento en metros por segundo, y el sistema de captación reporta la velocidad en kilómetros por hora, se lleva a cabo el procedimiento necesario para realizar esta conversión. En este proceso, se multiplica el valor de la velocidad obtenida por 1000 para convertir de kilómetros hora a metro sobre segundos, y luego se divide por la cantidad de segundos en una hora, es decir, 3600 segundos.

$$\text{Velocidad} = \frac{\frac{\text{km}}{\text{m}} * 1000}{3600} \quad (23)$$

$$\text{Velocidad} = \frac{5 * 1000}{3600} \quad (24)$$

$$\text{Velocidad} = 1.39 \text{ m/s} \quad (25)$$

Una vez obtenidos los valores en sus unidades para calcular la energía eólica generada en un segundo, procedemos a realizar dicho cálculo. Se tienen en cuenta los siguientes parámetros: el área efectiva de barrido de las aspas es de  $12.56 \text{ m}^2$ , la eficiencia del generador (considerando uno de bajo presupuesto) es del 12%, la densidad del aire es de  $30.77 \text{ mol/m}^3$ , y la velocidad del viento, crucial para el cálculo, es de  $1.6 \text{ m/s}$ . Es importante destacar que el tiempo de captación es de 1 segundo, equivalente  $0.000277778$  horas. Procedemos a realizar la sustitución de estos valores en la ecuación que permite el cálculo de la energía eólica.

$$E_{eolica} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * \eta \Delta t \quad (26)$$

$$E_{eolica} = \frac{1}{2} * 30.77 \text{ mol/m}^3 * 12.56 \text{ m}^2 * \left(\frac{1.39 \text{ m}}{\text{s}}\right)^3 * 0.12 \Delta t \quad (27)$$

$$E_{eolica} = 62.27 \Delta t \quad (28)$$

Y dado que el cálculo se realizó para un intervalo de 1 segundo, se multiplica este valor obtenido por el delta  $\Delta t$ , que equivale al valor en horas de 1 segundo mencionado anteriormente.

$$E_{eolica} = 62.27 * 0.000277778 \text{ h} \quad (29)$$

$$E_{eolica} = 0.017 \text{ W/h} \quad (30)$$

Teniendo en cuenta la comparación tanto de la información de energía calculada como de la entregada por el software, se ha creado una tabla donde se comparan

5 conjuntos de datos seleccionados al azar, excluyendo los valores en 0 para tener una mayor confiabilidad en el cálculo del error y determinar así el margen de error en la energía eólica obtenida por el sistema. Este procedimiento se ha llevado a cabo de manera consistente para cada conjunto de datos. La Tabla 6.1 muestra los resultados de estas comparaciones.

	<b>Datos arrojados por el software propuesto</b>	<b>Calculo teórico</b>	<b>Margen de error</b>
Dato 1	Presión atmosférica:742 hPa Velocidad del viento:5 km/h Energía eólica generada: 0.017241 W/h	Densidad de aire: 30.77 mol/m <sup>3</sup> Velocidad del viento:1.39m/s Energía eólica generada: 0.017W/h	1.4%
Dato 2	Presión atmosférica:742 hPa Velocidad del viento:4 km/h Energía eólica generada: 0.008889 W/h	Densidad de aire: 30.97 mol/m <sup>3</sup> Velocidad del viento:1.1m/s Energía eólica generada: 0.009W/h	1.2%
Dato 3	Presión atmosférica:742 hPa Velocidad del viento:10 km/h Energía eólica generada: 0.13885 W/h	Densidad de aire: 30.97 mol/m <sup>3</sup> Velocidad del viento:2.78m/s Energía eólica generada: 0.139W/h	0.1%
Dato 4	Presión atmosférica:742 hPa Velocidad del viento:6 km/h Energía eólica generada: 0.029793 W/h	Densidad de aire: 30.75 mol/m <sup>3</sup> Velocidad del viento:1.67m/s Energía eólica generada: 0.030W/h	0.6%
Dato 5	Presión atmosférica:742 hPa Velocidad del viento: 2 km/h Energía eólica generada: 0.001111 W/h	Densidad de aire: 30.98 mol/m <sup>3</sup> Velocidad del viento:0.56m/s Energía eólica generada: 0.001W/h	11%

Tabla 6.1. Comparación de resultado de energía eólica

Comparando los datos en la Tabla 6.1, se analiza el margen de error de la energía eólica y se obtiene que la información proporcionada por el sistema, en comparación con la calculada teóricamente, tiene un margen de error del 2.8%.

## 6.2. Energía Solar

Al igual que en el procedimiento anterior, se selecciona un dato al azar para realizar el cálculo teórico y comprobar así el correcto funcionamiento del dimensionamiento de energía solar. Es importante tener en cuenta la fecha en la que se extrajo el dato, ya que puede influir en algunos parámetros, como lo es ángulo horario, ya que la hora es importante para determinar la ubicación del sol. La información extraída al azar cuenta con los siguientes valores: una radiación solar de 436.144 W/m<sup>2</sup>, un ángulo de radiación de 35.6699 grados Celsius y una temperatura ambiente de 23 grados Celsius, resultando en una generación de energía solar de 0.059053 W/h.

Primero, teniendo en cuenta la fórmula principal del cálculo de energía solar (ecuación 27), es necesario identificar las variables con las que se cuenta y las que se deben calcular. Es importante destacar que, aunque la información proporcionada en el párrafo anterior es un dato al azar, este se encuentra en un rango de tiempo diurno.

$$E_{solar} = A * R * \cos(\theta) * \eta * \Delta t \quad (31)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 31, se establece que A es el área del panel solar, R corresponde a la radiación solar,  $\cos(\theta)$  es el ángulo de radiación,  $\eta$  es la eficiencia del panel, y  $\Delta t$  representa el intervalo de tiempo durante el cual se tomó el dato. En este caso, dado que la estación meteorológica solo calcula la temperatura y el sistema proporciona la fecha correspondiente de captación del dato, se comenzará a calcular los factores correspondientes a partir de este parámetro.

Para obtener el ángulo de radiación es esencial conocer la ubicación exacta donde se desea calcular dicho ángulo. Esto se logra a través de la latitud geográfica. La fórmula mostrada en la ecuación 32 hace parte de la elevación solar y a partir de ella se puede calcular el ángulo de radiación.

$$\sin(\beta) = \sin(\phi) * \sin(\delta) + \cos(\phi) * \cos(\delta) * \cos(h) \quad (32)$$

En este caso, la latitud geográfica de la ubicación requerida es de 4.723194 grados al norte. Dado que este valor está en grados, es necesario convertirlo a radianes, lo que equivale a 0.0825. Dicho lo anterior, se desconocen tanto el ángulo de inclinación solar ( $\beta$ ) como el ángulo horario ( $h$ ). Por ello, a través de la siguiente ecuación, se debe realizar el cálculo de la declinación solar ( $\delta$ ), que corresponde a la posición del sol con respecto al eje ecuatorial y también depende del día del año.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (N + 10)\right) \quad (33)$$

Si el dato se calculó en el día 13 del año, es relevante destacar que este valor representa el día 13 dentro del marco de los 365 días del año y no del mes. Luego de este reconocimiento, se procede a reemplazar este valor en la fórmula de la declinación solar.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (13 + 10)\right) \quad (34)$$

$$\delta = -14.995 \quad (35)$$

Luego, se procede a realizar el respectivo cálculo del ángulo horario. A diferencia del anterior, este indica la ubicación del sol con respecto a las 12:00 pm. En la ecuación 31, las horas deben estar en formato de horas civiles, es decir, en el formato de 24 horas.

$$h = 15 \cdot (tsolar - 12) \quad (36)$$

En caso de la ecuación anterior se tiene  $tsolar$ , que es tiempo solar verdadero, en este caso el tiempo en el que fue tomado el dato (14 horas), se reemplaza y con esta ecuación resuelta se obtendría el ángulo horario.

$$h = 15(14 - 12) \quad (37)$$

$$h = 30 \quad (38)$$

Una vez se tengan los resultados, ahora se procede a pasarlos a radianes. Esto bajo la ecuación 34, la cual muestra el procesamiento de cómo realizar lo anterior.

$$Radianes = Grados * \frac{180}{\pi} \quad (39)$$

Ya con estos valores se puede retomar la ecuación 28 para el cálculo de beta el cual es necesario para determinar el ángulo de radiación.

$$\sin(\beta) = \sin(\phi) * \sin(\delta) + \cos(\phi) * \cos(\delta) * \cos(h) \quad (40)$$

$$\sin(\beta) = \sin(0.0825) * \sin(-0.261) + \cos(0.0825) * \cos(-0.261) * \cos(0.524) \quad (41)$$

$$\sin(\beta) = 0.8124 \quad (42)$$

Luego se realiza el despeje de beta.

$$\sin^{-1}(0.812) \quad (43)$$

$$\beta = 0.948 \quad (44)$$

Una vez se tenga el resultado final de elevación solar, se debe convertir a grados, ya que el resultado obtenido está en radianes y para la operación final debe estar en grados.

$$\beta = 0.948 \quad (45)$$

$$\beta = 0.948 * \frac{180}{\pi} \quad (46)$$

$$\beta = 54.33 \quad (47)$$

Con estos valores, se puede realizar el cálculo del ángulo de radiación, convirtiendo el dato anterior a grados, ya que se le restará un ángulo.

$$\theta = 90 - 54.33 = 35.67^\circ \quad (48)$$

Dada la solución desarrollada anteriormente, la cual indica que el ángulo de radiación es de 35.67 grados, procederemos a calcular la radiación solar utilizando la ecuación 44. En este cálculo, consideraremos la constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ). La temperatura proporcionada por el sistema es de 23 grados Celsius, y para ello, se convierte esta temperatura a kelvins utilizando la ecuación 15, que fue mostrada anteriormente. A continuación, se realiza el mismo procedimiento de cálculo.

$$E = \sigma * T^4 \quad (49)$$

$$E = 5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4} * 296.15^4 \quad (50)$$

$$E = 436.15 W/m^2 \quad (51)$$

Obtenida la información de radiación solar y las demás variables, se procede a calcular la energía solar en 1 segundo de tiempo, para ello se emplea la ley Beer-Lambert, la cual nos proporciona la ecuación 47.

$$E_{solar} = A * R * \cos(\theta) * \eta \Delta t \quad (52)$$

Una vez calculadas las variables climáticas y considerando que  $\eta$  representa la eficiencia del panel, que generalmente se sitúa alrededor del 30%, y que el área (A) de este es aproximadamente  $2 m^2$ , junto con las características específicas de los paneles solares y las variables meteorológicas, tales como la radiación solar (R) y el  $\cos(\theta)$  (donde  $\theta$  es el ángulo de radiación), es posible resolver la ecuación 47, de la siguiente manera.

$$E_{solar} = 2m^2 * 436.15W/m^2 * \cos(0.622) * 0.3 \Delta t \quad (53)$$

$$E_{solar} = 212.68 \Delta t \quad (54)$$

Es importante destacar que al ingresar el ángulo de radiación en el coseno, es necesario convertirlo nuevamente a radianes. El delta de t representa el tiempo en el cual se genera esta cantidad de energía; en este caso, dado que es de 1 segundo, se multiplica el valor anterior por el equivalente de 1 segundo en horas.

$$E_{solar} = 212.68 * 0.000277778 h \quad (55)$$

$$E_{solar} = 0.059 W/h \quad (56)$$

Una vez obtenida la energía solar, se procede a evaluar el margen de error del sistema. Este proceso implica la toma de valores aleatorios, los cuales se comparan con los resultados obtenidos y se contrastan utilizando la información proporcionada en la Tabla 6.2.

	<b>Datos arrojados por el software propuesto</b>	<b>Calculo teórico</b>	<b>Margen de error</b>
Dato 1	Temperatura: 23C Angulo de radiación: 35.6699° Radiación solar:436.144 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.059053W/h Dia-Hora:13-14	Angulo de radiación: 37.57° Radiación solar:436.15 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.059W/h	0.8%
Dato 2	Temperatura: 19C Angulo de radiación: 76.8294° Radiación solar: 413.06 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.015686W/h Dia y Hora:13-17	Angulo de radiación: 77.1° Radiación solar:413.06 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.016W/h	1.2%
Dato 3	Temperatura: 21C Angulo de radiación: 76.8294° Radiación solar:424.481 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.01612W/h Dia y Hora:13-17	Angulo de radiación: 76.83° Radiación solar:424.48 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.016W/h	0.1%

Dato 4	Temperatura: 11C Angulo de radiación: 78.211° Radiación solar: 369.836 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.012586 W/h Dia y Hora:14-7	Angulo de radiación: 0.6% 78.25° Radiación solar:369.64 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.0013W/h
Dato 5	Temperatura: 23C Angulo de radiación: 52.077° Radiación solar:436.144 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.044676W/h Dia y Hora:14-9	Angulo de radiación: 11% 52.08° Radiación solar:436.14 W/m <sup>2</sup> Energía solar generada: 0.045W/h

Tabla 6.2. Comparación de resultado de energía eólica

Comparando los datos en la Tabla 6.2, se analiza el margen de error de la energía eólica y se obtiene que la información proporcionada por el sistema, en comparación con la calculada teóricamente, tiene un margen de error del 1.3%.

Ubicado en un terreno donde el consumo eléctrico supera los 17 kW/h durante aproximadamente 3 días, se lleva a cabo un análisis del comportamiento de las variables meteorológicas. Este análisis tiene como objetivo realizar una predicción de las energías a utilizar, utilizando el factor de conversión correspondiente. Se dispone de una gráfica (Figura 6.2) que establece una relación directa entre la energía solar y la energía eólica.

En este contexto, se busca optimizar la gestión de recursos energéticos, tomando en consideración las condiciones meteorológicas locales para anticipar y planificar el suministro de energía de manera más eficiente. La figura proporciona una representación visual de cómo la energía solar y la energía eólica están relacionadas, sirviendo como herramienta valiosa en la toma de decisiones para garantizar un suministro sostenible y adecuado a las necesidades del sistema ubicado en el predio mencionado.



Energía	Energía
eólica	solar
acumulada	acumulada
(W/h)	(W/h)
<b>1176.47</b>	<b>1112.27</b>

Figura 6.2. Cantidad de energía generada. Fuente: Elaboración propia

El sistema proporciona el total de la cantidad de energía eólica y energía solar generada, siendo la eólica la más predominante. Teniendo en cuenta estos datos, se realiza el factor de conversión para determinar los porcentajes de energía generada con respecto a la energía consumida. Para obtener este último dato se aprovecha los medidores eléctricos por la ciudad, ya que en estos se refleja el consume eléctrico de un predio, y también evitando perdidas de información ya que este es uno de los datos más relevantes en el sistema.

$$E_{consumida} = E_{final} - E_{inicial} \quad (57)$$

$$E_{consumida} = 38811.5kW/h - 38796.8kW/h \quad (58)$$

$$E_{consumida} = 14.7kW/h \quad (59)$$

Factor de conversión con respecto a la energía eólica:

$$FC = \frac{1176.47 W/h}{14.7kW/h} * 100 \quad (60)$$

$$FC = 8\% \quad (61)$$

Factor de conversión con respecto a la energía solar:

$$FC = \frac{1112.27W/h}{14.7kW/h} * 100 \quad (62)$$

$$FC = 7\% \quad (63)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que la energía eólica podría generar una cantidad significativa de energía, aunque aparentemente no es suficiente para cubrir totalmente las necesidades energéticas del predio. Sin embargo, es necesario realizar el dimensionamiento respectivo para comparar los cálculos matemáticos con las estimaciones del sistema.

Si se implementara la energía eólica, lo primero que se debe tener en cuenta es el consumo eléctrico registrado durante ese periodo de tiempo, que corresponde a un consumo inicial de 38,796.8 kW/h y un consumo final de 38,811.5 kW/h.

$$\text{Consumo Electrico} = 38811.5kW/h - 38796.1kW/h \quad (64)$$

$$\text{Consumo Electrico} = 14.7kW/h \quad (65)$$

Una vez calculado el consumo eléctrico y estimada la energía generada por una turbina eólica, se procede a dividir la cantidad de energía producida por la turbina entre el consumo eléctrico. De esta manera, se obtiene la cantidad de turbinas eólicas necesarias para el sistema.

$$\text{Cantidad de Turbinas} = \frac{14.7kW/h}{1074.1W/h} \quad (66)$$

$$\text{Cantidad de Turbinas} = 13.6 \approx 14 \quad (67)$$

Teniendo en cuenta el cálculo anterior se obtiene que se necesitan 14 turbinas eólicas con una capacidad nominal de 5kW para cubrir el consumo del total de predio.

Una vez calculado la cantidad de turbinas eólicas, y partiendo de la base que el viento puede que no sea constante se necesita almacenar la energía esta se almacenara en baterías, lo primero es decidir, cual es la cantidad de energía que se desea almacenar.

$$\text{Energía Deseada Almacenada} = 14.3 * 10^3 * 10\% \quad (68)$$

Para la energía deseada almacenada, se deja el 10% del consumo eléctrico total, lo que haría referencia a lo que se desea almacenar, como se muestra en la ecuación 69, corresponde a 1430 Watts.

$$\text{Energía Deseada Almacenada} = 1430 W \quad (69)$$

Después de haber calculado la energía que se desea almacenar, el siguiente paso es determinar la capacidad de las baterías. En este contexto, hay que tener en cuenta que existen diversas opciones de baterías utilizadas en aplicaciones de energía renovable, como las baterías de ion de litio (Li-Ion), las baterías de ácido de plomo y las baterías de sodio-níquel-cloruro (NaNiCl).

Estas baterías mencionadas suelen tener una eficiencia del 90%, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en este campo. No solo se destacan por su eficiencia, sino también por su capacidad de almacenamiento y su durabilidad a largo plazo.

La elección entre estos tipos de baterías dependerá de varios factores, incluyendo la aplicación específica, el presupuesto disponible y las condiciones ambientales. Es crucial realizar un análisis detallado para seleccionar la tecnología de batería más apropiada que cumpla con los requisitos del sistema y garantice un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Además, se deben considerar aspectos como la vida útil de las baterías y la posibilidad de reciclaje al tomar decisiones sobre el sistema de almacenamiento de energía.

Mencionado lo anterior, procederé a realizar el cálculo para determinar la capacidad que deben tener las baterías. Se desea almacenar el 10% del consumo total de energía. Para ello, dividiremos el valor correspondiente al 10% entre la eficiencia de las baterías a implementar. En este tipo de aplicativos, las baterías suelen tener una eficiencia de alrededor del 90%, y tomaremos este valor como la eficiencia de las baterías.

$$\text{Capacidad de baterías} = \frac{1430}{0.90} \quad (70)$$

$$\text{Capacidad de baterías} = 1.6 \text{ kW/h} \quad (71)$$

Realizado el cálculo según las ecuaciones 70 y 71, se obtiene que la capacidad de las baterías debe ser de 1.6 kW para almacenar el 10% de la energía producida.

Comparándolo con la información calculada por el sistema, como se observa en la ventana del dashboard (Figura 6.3), se obtiene que los cálculos son coherentes. Teniendo en cuenta que se necesitan 14 turbinas eólicas y una configuración de baterías con una capacidad de 1.6 kW para la implementación de energía eólica.

### Resumen

Energía Eólica obtenida (Wh)	Energía Solar obtenida (Wh)	Cosumo energético inicial (kWh):	Area Disponible (m <sup>2</sup> ):	Fecha inicial:	Viabilidad:	Implementar turbinas eólicas
1074.1	933.66	38796.8	80	01/12/2024 00:00	Viabilidad Disponible:	
Eq_eólica: 7.31%	Eq_solar: 6.35%	Cosumo energético final (kWh):	Cantidad Disponible:	Fecha final:	Baterías:	1633.33 Wh
		38811.5	21 Paneles	01/13/2024 21:58	Cantidad:	14 Turbinas Eolicas
		Total consumo: 14.70 kW/h	Disponibles:			
			Paneles solares			

Figura 6.3. Análisis realizado por el software propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Además del cálculo realizado anteriormente, también se debe tener en cuenta el área disponible, es decir, el espacio que el usuario tendría disponible en su predio para la instalación de captadores de energía limpia. Para ello, como se muestra en la Figura 6.3, se le pide al usuario que introduzca el valor en metros cuadrados. A partir de esto, el software desarrollado calcula cuál será la energía disponible, ya que es posible que el área disponible no sea suficiente para implementar el 100%

de los materiales de captación de energía. Por lo tanto, es necesario ajustar la instalación según las limitaciones de espacio disponibles.

Mencionado lo anterior y teniendo en cuenta que la distancia para turbinas eólicas de un aspa de 2 metros se debe dejar 8 metros de distancia y para un panel de 2 metros de debe dejar 0.5 metros de separación, el software calculara a partir de estos parámetros también es importante aclarar que la densidad de la potencia es  $3 \text{ W/m}^2$  para turbinas eólicas y para paneles solares es de  $100\text{W/m}^2$ .

## **7. Conclusiones y Trabajos futuros**

### **7.1. Conclusiones**

El análisis e investigación de la literatura relacionada con el tema fue esencial para la elección y comprensión de las variables a emplear en el proyecto. Esta investigación resultó crucial para el desarrollo del sistema, ya que no todas las estaciones meteorológicas capturan todas las variables necesarias. En este caso, la estación meteorológica utilizada no capta las variables necesarias para el cálculo de generación solar, pero sí aquellas necesarias para calcular la generación de energía eólica y la temperatura. Sin embargo, mediante ecuaciones y modelos, es posible calcular las variables faltantes, permitiendo así una toma de decisiones más informada en el ámbito de la energía renovable.

Las variables meteorológicas son obtenidas mediante sensores robustos especializados en el área. A partir de una estación meteorológica, se establece una comunicación con una inteligencia artificial (IA) de reconocimiento y procesamiento de imagen. Esta conexión facilita la lectura de datos de manera eficaz, buscando disminuir el margen de pérdida de información. Los datos necesarios para el consumo eléctrico se adquieren de forma manual, aprovechando los contadores de energía eléctrica instalados por la ciudad en las viviendas.

El desarrollo del software implementado para el análisis de la información tanto climática como eléctrica marcó un hito clave en la culminación del trabajo. Este programa, mediante algoritmos y ecuaciones específicas, tiene la capacidad de comparar las fuentes de energías no convencionales, en este caso, eólica y solar, basándose en la información recopilada. El funcionamiento adecuado del programa permite al usuario adquirir información y recomendaciones sobre la mejor alternativa para la elección de suministro energético sostenible en un contexto particular. El enfoque del software desarrollado es una herramienta valiosa en temas de sostenibilidad ambiental, ya que promueve la transición energética.

La comparación entre la energía eólica y la energía solar resalta la constancia y fiabilidad de esta última en contraste con la variabilidad de la energía eólica. La

energía solar se beneficia de un suministro constante durante ciertas horas del día, aprovechando de manera directa la radiación solar. Por otro lado, la energía eólica depende de la presencia y fuerza del viento, lo que significa que su generación puede ser intermitente y nula en ausencia de viento. Esta diferencia fundamental destaca la estabilidad de la energía solar como una opción más predecible y continua en comparación con la dependencia variable de la energía eólica.

La revisión bibliográfica, junto con la aplicación de ecuaciones, permitió validar el sistema mediante la comparación entre resultados prácticos y teóricos. El análisis dio como resultado que la evaluación realizada por el sistema arroja valores coherentes y cercanos a los datos teóricos con un margen de error de 1.3% en energía solar y 2.8% en energía eólica. La consistencia entre teoría y práctica, respaldada por la coherencia de valores históricos y ecuaciones matemáticas, valida el adecuado funcionamiento del sistema propuesto.

## **7.2. Trabajos Futuros**

Las energías no convencionales, cada vez más empleadas, desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad ambiental. Este trabajo tiene el potencial de extenderse a áreas urbanas marginadas o regiones rurales, donde la falta de conocimiento sobre energías renovables y consumo energético es evidente. Un modelo de negocio orientado a estos sectores puede proporcionar asesoramiento y soluciones adaptadas, abriendo oportunidades para implementar sistemas sostenibles y educar a comunidades que podrían beneficiarse enormemente de estas tecnologías.

Además, el proyecto puede inspirar iniciativas de investigación centradas en la mejora de sensores y la reducción de márgenes de error en la captación de fenómenos climáticos. La innovación en esta área contribuiría significativamente a la precisión de los datos recopilados, fortaleciendo la fiabilidad de los sistemas de energía renovable. Este enfoque de investigación también podría abordar desafíos específicos que enfrentan las comunidades en términos de variabilidad climática.

Finalmente, el software desarrollado podría ser ampliado y mejorado para hacerlo más robusto y versátil. Esto podría implicar la incorporación de funciones adicionales, como análisis de datos más avanzados, interfaces de usuario más intuitivas o incluso la adaptación del sistema para diferentes entornos climáticos. La evolución continua del software garantizaría su aplicabilidad a medida que las tecnologías y las necesidades del usuario final evolucionan con el tiempo, promoviendo así las energías limpias.

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1: Imagen de la estación meteorológica empleada

A continuación, se presenta la imagen de la estación meteorológica que corresponde a la referencia FJ3390A empleada en este proyecto.



Anexo 1. Estación Meteorológica FJ3390A. Fuente: [39]

### 8.2. Anexo 2: Fotografía de la implementación para la captura de datos

En la siguiente fotografía muestra la implantación física para la captura de datos con el objetivo de que sean enviados a la programa propuesto para el análisis.



Figura 8.2. Fotografía de la captación de datos. Fuente: Elaboración propia.

### 8.3. Anexo 3: Estructura MVC

El siguientes de diagrama muestra la estructura MVC de programa.

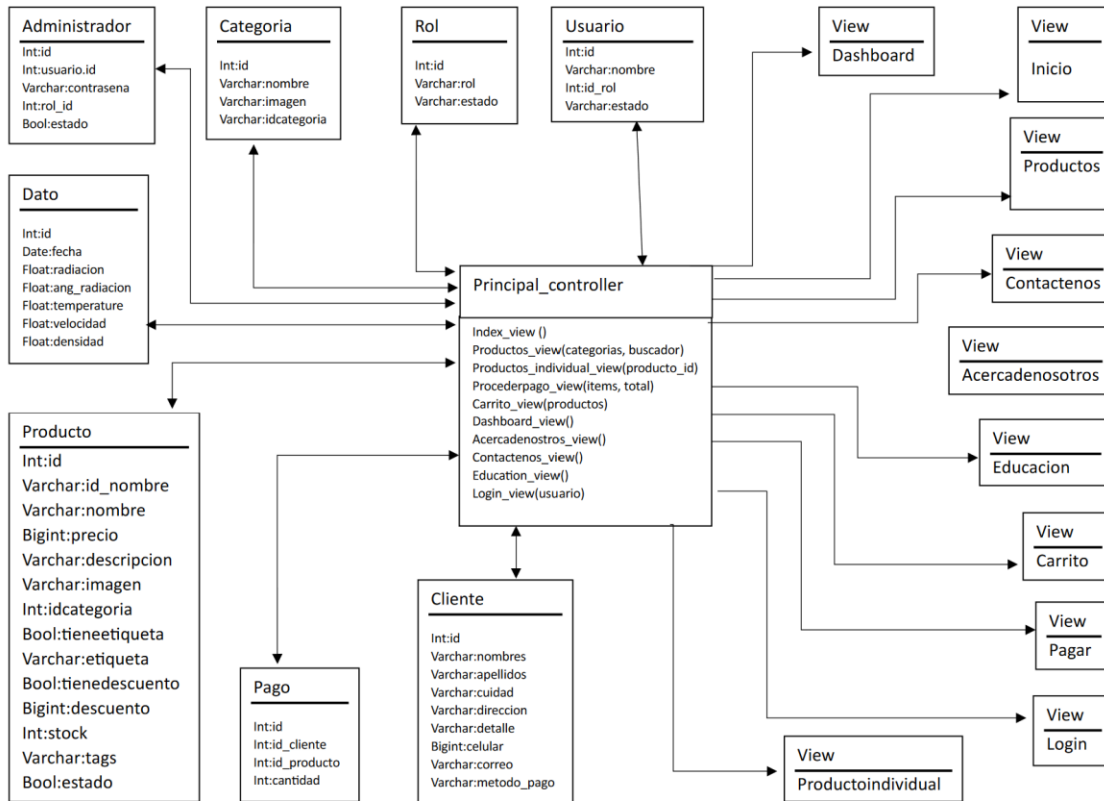


Figura 8.3. Estructura MVC. Fuente: Elaboración propia.

### 8.4. Anexo 4. Diagrama de clases de la base de datos

A continuación se muestra la estructura de diagrama de clases de la base de datos del sistema.

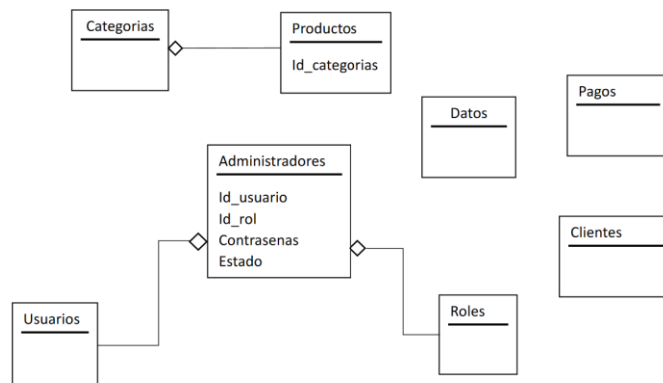


Figura 8.4. Diagrama de clases de la base de datos. Fuente: Elaboración propia.

## 8.5. Anexo 5: Ventana del Dashboard

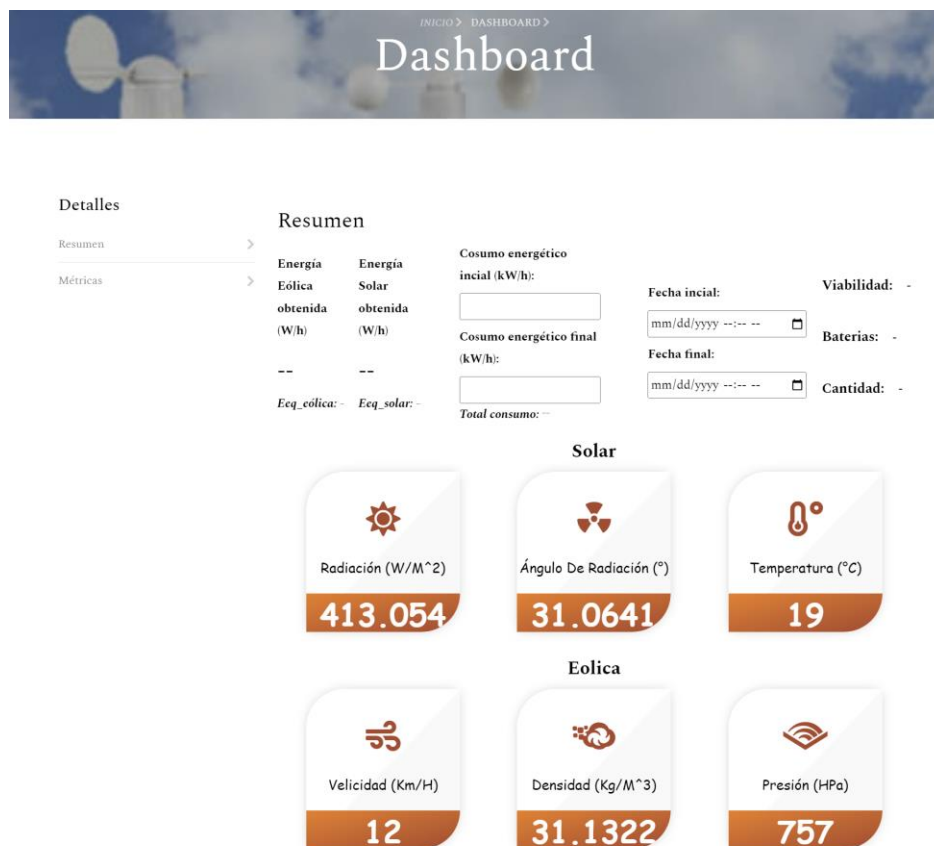


Figura 8.5. Ventana del dashboard. Fuente: Elaboración propia

## 8.6. Anexo 6: Ventana de metricas

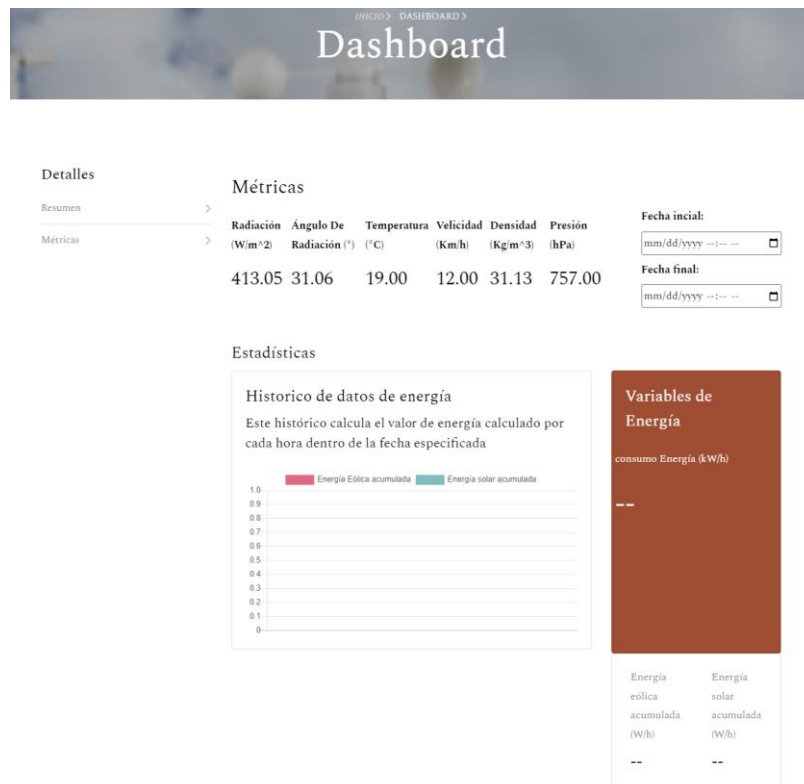


Figura 8.6. Ventana de metricas. Fuente: Elaboración propia

## 8.7. Anexo 7: Código

```
<?php
    include('admin/conexiones/conexiones.php');

    session_start();
    $_SESSION['error'] = False;

?>

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">

<head>
    <title>ESTACIÓN METEOROLÓGICA - Dashboard</title>
    <?php
        require_once('templates/estilos.php');
    ?>
    <link rel="stylesheet" href="css/estilosdash.css">
```

```

</head>

<body>

  <!-- script actualizar datos tiempo real -->

  <!------- contenido de la pagina----->
  ----->
  <?php
    $activo = "dashboard";
    include('templates/cabecera.php');
  ?>

  <!-------Productos----->
  ----->
  <section class="hero-wrap hero-wrap-2" style="background-image:
url('images/logo-estacion.jpg');"
    data-stellar-background-ratio="0.5">
    <div class="overlay"></div>
    <div class="container">
      <div class="row no-gutters slider-text align-items-end justify-
content-center">
        <div class="col-md-9 ftco-animate mb-5 text-center">
          <p class="breadcrumbs mb-0"><span class="mr-2"><i>INICIO
            <i class="fa fa-chevron-
right"></i></i></span> <span>DASHBOARD <i
              class="fa fa-chevron-right">
                </i>
            </div>
          <h2 class="mb-0 bread">Dashboard</h2>
        </div>
      </div>
    </div>
  </section>

  <section class="ftco-section">
    <div class="container">
      <div class="row">
        <div class="col-md-3">
          <div class="sidebar-box ftco-animate">
            <div class="categories">
              <h3>Detalles</h3>

```

```

        <ul class="p-0">
            <li><a class="tab-link" data-
tab="resumen">Resumen <span
                                class="fa fa-chevron-
right"></span></a></li>
            <li><a class="tab-link" data-
tab="metricas">Métricas <span
                                class="fa fa-chevron-
right"></span></a>
            </li>
            <!-- <li><a class="tab-link" data-
tab="reporte">Reporte <span
                                class="fa fa-chevron-
right"></span></a></li> -->

        </ul>
    </div>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-9">

    <div class="tab-content active" id="resumen-tab">
        <h3>Resumen</h3>
        <div class="statistics-details d-flex align-items-
center justify-content-between">
            <div style="font-weight: bold;">
                <p class="statistics-title" style="color:
black; ">Energía Eólica obtenida (W/h)</p>
                <h3 class="rate-percentage" id= "E_eolica" >
-- </h3>

                <p class="text- d-flex"><i
                    class="mdi mdi-menu-down"
style="color: black; ">Eq_eólica: </i><span id="Eq_eolica">-</span>
                </p>
            </div>
            <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
                <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Energía Solar obtenida (W/h)</p>
                <h3 class="rate-percentage" id= "E_solar" >
-- </h3>

                <p class="text- d-flex"><i
                    class="mdi mdi-menu-up"
style="color: black; ">Eq_solar: </i><span id="Eq_solar">-</span>

```

```

        </p>
    </div>
    <div style="padding-left:40px; font-weight:
bold;" width="100%">
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Consumo energético inicial (kW/h):</label>
        <input type="number" id="consumoInicial"
name="E_inicial" step="any">
        <h3 class="rate-percentage"></h3>
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Consumo energético final (kW/h):</label>
        <input type="number" id="consumoFinal"
name="E_final" step="any">
        <p class="text- d-flex"><i
            class="mdi mdi-menu-down"
style="color: black; ">Total consumo: </i><span id="resultadoConsumo"
style="font-size: 14px !important;"> -- </span>
        </p>
    </div>
    <div style="padding-left:60px; font-weight:
bold;">
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Fecha inicial:</label>
        <input type="datetime-local"
id="fechaInicial" name="Fecha_inicial">
        <h3 class="rate-percentage"></h3>
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Fecha final:</label>
        <input type="datetime-local" id="fechaFinal"
name="Fecha_final">

    </div>
    <div>
        <div style="display:flex; align-
items:center;">
            <div class="d-none d-md-block"
style="padding-left:20px;">
                <p class="statistics-title"></p>
                <h3 class="rate-percentage"
style="font-weight: bold; font-size:18px">Viabilidad: </h3>
                <p class="text-success d-flex"><i
                    class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
                </p>
            </div>

```

```

        <div class="d-none d-md-block">
            <p class="statistics-title"></p>
            <h3 class="rate-percentage text-"
style= "font-size:16px" id="Viabilidad"></h3>
            <p class="text-danger d-flex"><i
                class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
            </p>
        </div>
        <div class="d-none d-md-block">
            <p class="statistics-title"></p>
            <h3 class="rate-percentage"></h3>
            <p class="text-success d-flex"><i
                class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
            </p>
        </div>
    </div>
    <div style="display:flex; align-
items:center;">
        <div class="d-none d-md-block"
style="padding-left:20px;">
            <p class="statistics-title"></p>
            <h3 class="rate-percentage"
style="font-weight: bold; font-size:18px">Baterias: </h3>
            <p class="text-success d-flex"><i
                class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
            </p>
        </div>
        <div class="d-none d-md-block">
            <p class="statistics-title"></p>
            <h3 class="rate-percentage text-"
style= "font-size:16px" id="Baterias"></h3>
            <p class="text-danger d-flex"><i
                class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
            </p>
        </div>
        <div class="d-none d-md-block">
            <p class="statistics-title"></p>
            <h3 class="rate-percentage"></h3>
            <p class="text-success d-flex"><i
                class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
            </p>
        </div>
    </div>

```

```

        </p>
      </div>
    </div>
    <div style="display:flex; align-
items:center;">
      <div class="d-none d-md-block"
style="padding-left:20px;">
        <p class="statistics-title"></p>
        <h3 class="rate-percentage"
style="font-weight: bold; font-size:18px">Cantidad: </h3>
        <p class="text-success d-flex"><i
class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
        </p>
      </div>
      <div class="d-none d-md-block">
        <p class="statistics-title"></p>
        <h3 class="rate-percentage text-"
style="font-size:16px" id="Cantidad"></h3>
        <p class="text-danger d-flex"><i
class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
        </p>
      </div>
      <div class="d-none d-md-block">
        <p class="statistics-title"></p>
        <h3 class="rate-percentage"></h3>
        <p class="text-success d-flex"><i
class="mdi mdi-menu-
down"></i><span></span>
        </p>
      </div>
    </div>
  </div>
<div class="container">
  <div class="Titulo">
    <h4 style="text-align:center;">Solar</h4>
    <div class="row">
      <div class="col-md-4 col-sm-4">
        <div class="counter orange">
          <div class="counter-icon">
            <i class="fa fa-sun"></i>
          </div>

```

```

        <h3>Radiación (W/m^2)</h3>
        <span class="counter-value"
id="radiacion">569</span>
    </div>
</div>
<div class="col-md-4 col-sm-4">
    <div class="counter orange">
        <div class="counter-icon">
            <i class="fa fa-
radiation"></i>
        </div>
        <h3>Ángulo de radiación (°)</h3>
        <span class="counter-value"
id="ang_radiacion">537</span>
    </div>
</div>
<div class="col-md-4 col-sm-4">
    <div class="counter orange">
        <div class="counter-icon">
            <i class="fa fa-temperature-
low"></i>
        </div>
        <h3>Temperatura (°C)</h3>
        <span class="counter-value"
id="temperatura">5658</span>
    </div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<div class="container" style="padding-top:30px;">
    <div class="Titulo">
        <h4 style="text-align:center;">Eolica</h4>
        <div class="row">
            <div class="col-md-4 col-sm-4">
                <div class="counter orange">
                    <div class="counter-icon">
                        <i class="fa fa-wind"></i>
                    </div>
                    <h3>Velicidad (Km/h)</h3>
                    <span class="counter-value"
id="velocidad">569</span>
                </div>
            </div>
        </div>
    </div>
</div>

```

```

        <div class="counter orange">
          <div class="counter-icon">
            <i class="fab fa-
cloudversify"></i>

            </div>
            <h3>Densidad (Kg/m^3)</h3>
            <span class="counter-value"
id="densidad">537</span>

          </div>
        </div>
        <div class="col-md-4 col-sm-4">
          <div class="counter orange">
            <div class="counter-icon">
              <i class="fab fa-
audible"></i>

              </div>
              <h3>Presión (hPa)</h3>
              <span class="counter-value"
id="presion">5658</span>

            </div>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>
  <div class="tab-content" id="metricas-tab">
    <h3 >Métricas</h3>
    <div class="statistics-details d-flex align-items-
center justify-content-between">
      <div style="font-weight: bold;">
        <p class="statistics-title" style="color:
black; ">Radiación (W/m^2)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id= "radMetrica"
> -- </h3>

      </div>
      <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
        <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Ángulo De Radiación (°)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id= "angMetrica"
> -- </h3>

      </div>
    </div>
  </div>

```

```

        <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
        <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Temperatura (°C)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id=
"tempMetrica" > -- </h3>

    </div>
    <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
        <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Velicidad (Km/h)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id= "velMetrica"
> -- </h3>

    </div>
    <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
        <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Densidad (Kg/m^3)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id= "denMetrica"
> -- </h3>

    </div>
    <div style="padding-left:11px; font-weight:
bold;">
        <p class="rate-percentage" style="color:
black;">Presión (hPa)</p>
        <h3 class="rate-percentage" id= "preMetrica"
> -- </h3>

    </div>

    <div style="padding-left:60px; font-weight:
bold;">
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Fecha inicial:</label>
        <input type="datetime-local"
id="Fecha_inicial_metrica" name="Fecha_inicial_metrica">
        <h3 class="rate-percentage"></h3>
        <label for="decimalInput" style="color:
black; ">Fecha final:</label>
        <input type="datetime-local"
id="Fecha_final_metrica" name="Fecha_final_metrica">

```

```

        </div>

</div>

<h4 style="padding-top:50px;">Estadísticas</h4>
<div class="row">
  <div class="col-lg-8 d-flex flex-column">
    <div class="row flex-grow">
      <div
        class="col-12 col-lg-4 col-lg-12
grid-margin stretch-card">
        <div class="card card-rounded">
          <div class="card-body">
            <div
              class="d-sm-flex
justify-content-between align-items-start">
                <div>
                  <h4
                    class="card-
title card-title-dash">
                    Historico de
                    datos de energía</h4>
                    <h5
                      class="card-
subtitle card-subtitle-dash">
                      Este histórico
                      calcula el valor de energía calculado por cada hora dentro de la fecha
                      especificada</h5>
                </div>
                <div id="performance-
line-legend"></div>
            </div>
            <div class="chartjs-wrapper
mt-4" >
              <div class=" active"
id="radiacion-tab">
                <canvas
id="gráficasolar1"></canvas>
              </div>
            </div>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>
</div>

```

```

        </div>
    </div>
    <div class="col-lg-4 d-flex flex-column">
        <div class="row flex-grow">
            <div
                class="col-md-6 col-lg-12 grid-
margin stretch-card">
                <div class="card bg-primary card-
rounded">
                    <div class="card-body pb-0">
                        <h4
                            class="card-title card-
title-dash text-white mb-4">
Energía</h4>
                        <div class="row">
                            <div class="col-mb-4">
                                <p
                                    class="status-
summary-ight-white mb-4" style="color: white;">
consumo Energía
(kW/h)</p>
                                <h2 class="text-
info" style="color: white !important; font-size: 40px !important;"
id="consumo_metrica">--</h2>
                                </div>
                            <div class="col-sm-8">
                                <div
                                    class="status-
summary-chart-wrapper pb-4">
                                    <canvas
                                        id="status-
summary"></canvas>
                                </div>
                            </div>
                        </div>
                    </div>
                </div>
            </div>
        </div>
    </div>
    <div
        class="col-md-6 col-lg-12 grid-
margin stretch-card">
        <div class="card card-rounded">
            <div class="card-body">
                <div class="row">

```

```

<div class="col-sm-6">
  <div
    class="d-flex
justify-content-between align-items-center mb-2 mb-sm-0">
    <div
      class="circle-progress-width">
        <div
          id="totalVisitors"
          class="progressbar-js-circle pr-2">
            </div>
          </div>
        <div>
          <p
            class="text-small mb-2">
              Energía
            eólica acumulada (W/h)</p>
            <h4
              class="mb-0 fw-bold" id="E_eolica_metrica">
                --</h4>
            </div>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
  <div class="col-sm-6">
    <div
      class="d-flex
justify-content-between align-items-center">
      <div
        class="circle-progress-width">
          <div
            id="visitperday"
            class="progressbar-js-circle pr-2">
              </div>
            </div>
          <div>
            <p
              class="text-small mb-2">
                Energía
              solar acumulada (W/h)</p>
              <h4
                class="mb-0 fw-bold" id="E_solar_metrica">
                  --</h4>
            </div>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>

```



```

elements: {
  point: {
    radius: 0
  }
},
tooltips: {
  mode: 'index',
  intersect: false,
  callbacks: {
    label: function (tooltipItem, data) {
      // Muestra la etiqueta de ambos datasets
      var datasetLabel =
data.datasets[tooltipItem.datasetIndex].label || '';
      var value =
data.datasets[tooltipItem.datasetIndex].data[tooltipItem.index];
      return datasetLabel + ': ' + value;
    },
  }
}
};

var data = {
  labels: [],
  datasets: [{
    label: 'Energía Eólica acumulada', // Etiqueta del primer
dataset
    data: [],
    backgroundColor: 'rgba(255, 99, 132, 0.2)',
    borderColor: 'rgba(255, 99, 132, 1)',
    borderWidth: 3,
    pointRadius: 3,
    fill: false
  }, {
    label: 'Energía solar acumulada', // Etiqueta del segundo
dataset
    data: [],
    backgroundColor: 'rgba(75, 192, 192, 0.2)',
    borderColor: 'rgba(75, 192, 192, 1)',
    borderWidth: 3,
    pointRadius: 3,
    fill: false
  }
]
};

```

```

    var lineChartCanvas =
document.getElementById('gráficasolar1').getContext('2d')
    var lineChart = new Chart(lineChartCanvas, {
    type: 'line',
    data: data,
    options: options
    });

</script>

<script src="js/jquery.min.js"></script>
<script src="js/jquery-migrate-3.0.1.min.js"></script>
<script src="js/popper.min.js"></script>
<script src="js/bootstrap.min.js"></script>
<script src="js/jquery.easing.1.3.js"></script>
<script src="js/jquery.waypoints.min.js"></script>
<script src="js/jquery.stellar.min.js"></script>
<script src="js/owl.carousel.min.js"></script>
<script src="js/jquery.magnific-popup.min.js"></script>
<script src="js/jquery.animateNumber.min.js"></script>
<script src="js/scrollax.min.js"></script>
<script
src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=AIzaSyBVWaKrjvy3MaE7SQ74_uJ
iULgl1JY0H2s&sensor=false">
</script>
<script src="js/google-map.js"></script>
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/bootstrap-
select/1.13.1/js/bootstrap-select.min.js"></script>
<script src="js/main.js"></script>

<script src="js/animarcarrito.js"></script>

<script>
$(document).ready(function() {
    // Manejar el clic en los enlaces de pestañas
    $(".tab-link").click(function(e) {
        e.preventDefault();

        // Ocultar todos los contenidos de pestañas
        $(".tab-content").removeClass("active");

        // Obtener el identificador de la pestaña del atributo data-tab
        var tabId = $(this).data("tab");

```

```

        // Mostrar el contenido de la pestaña correspondiente
        $("#" + tabId + "-tab").addClass("active");
    });
});
</script>

<script>
    // Función para actualizar los datos cada medio segundo
    function actualizarDatos() {
        $.ajax({
            url: 'obtener_datos.php', // Archivo PHP que obtiene los
datos de la base de datos
            type: 'GET',
            success: function (data) {
                //console.log(data);
                $('#radiacion').html(data[0].radiacion); // Mostrar los
datos en el elemento con el ID 'datos'
                $('#ang_radiacion').html(data[0].ang_radiacion);
                $('#temperatura').html(data[0].temperatura);
                $('#velocidad').html(data[0].velocidad);
                $('#densidad').html(data[0].densidad);
                $('#presion').html(data[0].presion);

                //Metricas
                $('#radMetrica').html(data[0].radiacion.toFixed(2)); //
Mostrar los datos en el elemento con el ID 'datos'
                $('#angMetrica').html(data[0].ang_radiacion.toFixed(2));
                $('#tempMetrica').html(data[0].temperatura.toFixed(2));
                $('#velMetrica').html(data[0].velocidad.toFixed(2));
                $('#denMetrica').html(data[0].densidad.toFixed(2));
                $('#preMetrica').html(data[0].presion.toFixed(2));

            },
            complete: function () {
                setTimeout(actualizarDatos, 500); // Llamar a la función
nuevamente después de 500 milisegundos (0.5 segundos)
            }
        });
    }
}

```

```

// Iniciar la actualización de datos
$(document).ready(function () {
    actualizarDatos();
});
</script>

<script>
    document.addEventListener("DOMContentLoaded", function() {
        // Obtener referencias a los elementos de fecha
        var fechaInicial = document.getElementById("fechaInicial");
        var fechaFinal = document.getElementById("fechaFinal");
        var consumoInicial = document.getElementById("consumoInicial");
        var consumoFinal = document.getElementById("consumoFinal");

        var fechaInicial_metricas =
document.getElementById("Fecha_inicial_metrica");
        var fechaFinal_metricas =
document.getElementById("Fecha_final_metrica");

        // Agregar evento de cambio a fechaFinal
        fechaFinal.addEventListener("change", function() {
            // Actualizar la fecha máxima en fechaInicial
            fechaInicial.max = fechaFinal.value;
            fechaFinal_metricas.value = fechaFinal.value;

            if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
                realizarSolicitudBD();
            }
        });

        // Agregar evento de cambio a fechaInicial
        fechaInicial.addEventListener("change", function() {
            // Actualizar la fecha mínima en fechaFinal
            fechaFinal.min = fechaInicial.value;
            fechaInicial_metricas.value = fechaInicial.value;

            if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {

```

```

        realizarSolicitudBD();
    }
});

fechaFinal_metricas.addEventListener("change", function() {
    // Actualizar la fecha máxima en fechaInicial
    fechaInicial_metricas.max = fechaFinal_metricas.value;
    fechaFinal.value = fechaFinal_metricas.value;

    if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        realizarSolicitudBD();
    }
});

// Agregar evento de cambio a fechaInicial
fechaInicial_metricas.addEventListener("change", function() {
    // Actualizar la fecha mínima en fechaFinal
    fechaFinal_metricas.min = fechaInicial_metricas.value;
    fechaInicial.value = fechaInicial_metricas.value;

    if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        realizarSolicitudBD();
    }
});

// Agregar evento de cambio a consumoFinal
consumoFinal.addEventListener("change", function() {
    // Realizar la resta y mostrar el resultado si ambos
consumos tienen valor
    if (consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        mostrarResultadoConsumo();
    }

    if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        realizarSolicitudBD();
    }
});

```

```

// Agregar evento de cambio a consumoInicial
consumoInicial.addEventListener("change", function() {
    // Realizar la resta y mostrar el resultado si ambos
consumos tienen valor
    if (consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        mostrarResultadoConsumo();
    }

    if (fechaInicial.value && fechaFinal.value &&
consumoInicial.value && consumoFinal.value) {
        realizarSolicitudBD();
    }
});

function realizarSolicitudBD() {
    // Obtener las fechas seleccionadas
    var fechaInicialValor = fechaInicial.value;
    var fechaFinalValor = fechaFinal.value;
    var consumoInicialValor = consumoInicial.value;
    var consumoFinalValor = consumoFinal.value;

    // Realizar la solicitud AJAX
    $.ajax({
        url: 'solicitar_calculo_historico.php', // Reemplaza
'tuscript.php' con la ruta a tu script PHP
        method: 'GET',
        data: {
            fechaInicial: fechaInicialValor,
            fechaFinal: fechaFinalValor,
            consumoInicial: consumoInicialValor,
            consumoFinal: consumoFinalValor
        },
        success: function(response) {
            // Manejar la respuesta de la base de datos
            console.log(response);
            $('#E_eolica').html(response["E_eolica"] );
            $('#E_solar').html(response["E_solar"]);
            $('#Eeq_eolica').html(response["Eeq_eolica"] + "%");
            $('#Eeq_solar').html(response["Eeq_solar"] + "%");
            $('#Viabilidad').html(response["Viabilidad"]);
        }
    });
}

```

```

$('#Baterias').html(response["Baterias"].toFixed(2)+" Wh");
$('#Cantidad').html(response["Cantidad"]);

//metricas
$('#E_eolica_metrica').html(response["E_eolica"] );
$('#E_solar_metrica').html(response["E_solar"]);

//////////
//procesamiento de la gráfica
var etiquetas = response["datos"].map(function(item)
{
    return item.hora;
});

var datos_eolica =
response["datos"].map(function(item) {
    return item.sumE_eolica;
});

var datos_solar =
response["datos"].map(function(item) {
    return Math.abs(item.sumE_solar);
});

console.log(etiquetas);
console.log(datos_eolica);
console.log(datos_solar);

// Actualizar el objeto 'data' con las nuevas
etiquetas y datos
lineChart.data.labels = etiquetas;
lineChart.data.datasets[0].data = datos_eolica;
lineChart.data.datasets[1].data = datos_solar;

// Actualizar la gráfica
lineChart.update();

},
error: function(error) {

```

```

        console.error('Error en la solicitud AJAX:', error);
    }
});
}

function mostrarResultadoConsumo() {
    // Obtener los valores de consumo
    var consumoInicialValor = parseFloat(consumoInicial.value);
    var consumoFinalValor = parseFloat(consumoFinal.value);

    // Calcular y mostrar el resultado de la resta
    var resultadoResta = consumoFinalValor -
consumoInicialValor;
    resultadoConsumo.innerHTML = resultadoResta.toFixed(2) + "
kW/h";
    $('#consumo_metrica').html(resultadoResta.toFixed(2) + "
kW/h");
}

});
</script>

</body>

</html>

```

El código anterior muestra el código del dashboard.

```

<?php

include_once('admin/conexiones/conexiones.php');

// Obtiene la cadena JSON de la solicitud POST
$json_data = file_get_contents("php://input");

// Decodifica la cadena JSON en un array de PHP
$datos = json_decode($json_data, true);

```

```

###Procesamiento de datos
#Constantes
$pi = M_PI;

// Parámetros del generador eólico
$R = 2;
$area_efectiva = $pi * pow($R, 2); // m²
$densidad_aire = floatval($datos["densidad"]); // kg/m³ (valor estándar
a nivel del mar)
$eficiencia_generador = 0.12; // 12%
$velocidad_viento = (floatval($datos["velocidad"])* 1000)/3600; // m/s
#echo ($datos["velocidad"]);
$tiempo = 0.00027777778; // horas = 1 segundo

$potencia_generada = 0.5 * $densidad_aire * $area_efectiva *
$eficiencia_generador * pow($velocidad_viento, 3);
$energia_eolica_generada = $potencia_generada * $tiempo;
#echo ($energia_eolica_generada);

////////////////////////////////////
//Parámetros del generador solar
$const_area_panel = 2; // m²
$radiacion_solar = $datos["radiacion_solar"]; // W/m²
$angulo_radiacion = $datos["ang_radiacion"]; // grados
$angulo_radiacion_rad = deg2rad($angulo_radiacion);
$eficiencia_panel = 0.30; //30%

$potencia_solar_generada = $const_area_panel * $radiacion_solar *
cos($angulo_radiacion_rad) * $eficiencia_panel;
$energia_solar_generada = $potencia_solar_generada * $tiempo;
echo (cos($angulo_radiacion_rad) );

////////////////////////////////////

```

```
$datos['E_eolica'] = $energia_eolica_generada;
$datos['E_solar'] = $energia_solar_generada;
```

```
var_dump($datos); // Imprimir en pantalla
```

```
subir_datos_db($datos);
```

El código anterior muestra el código de subir los datos a la base de datos

```
<?php
```

```
include_once('admin/conexiones/conexiones.php');
```

```
// Obtener los valores de la solicitud
$fechaInicial = $_GET['fechaInicial'];
$fechaFinal = $_GET['fechaFinal'];
$consumoInicial = $_GET['consumoInicial'];
$consumoFinal = $_GET['consumoFinal'];
```

```
// Realizar solicitud a la db
$resultado = array(
    'fechaInicial' => $fechaInicial,
    'fechaFinal' => $fechaFinal,
    'consumoInicial' => $consumoInicial,
    'consumoFinal' => $consumoFinal
);
```

```
$historico = obtener_historico($resultado);
$sumatorias = obtener_sumatorias($resultado);
```

```
//////////
```

```
//Procesar historico
$consumoEnergia = floatval($resultado["consumoFinal"] -
$resultado["consumoInicial"]) * 1000;
$E_solar = floatval($sumatorias[0]["sumE_solar"]);
$E_eolica = floatval($sumatorias[0]["sumE_eolica"]);
```

```

$FC_solar = $E_solar / floatval($consumoEnergia) * 100;
// $Eq_solar =

$FC_eolica = $E_eolica / floatval($consumoEnergia) * 100;
// $Eq_eolica =

$viabilidad = "";
$baterias = 0.0;
$cantidad = 0.0;
$Textocantidad = "";

if($FC_eolica <= 0 && $FC_solar <= 0)
{
    $viabilidad = "No es viable implementar energías limpias";
}
else if($FC_eolica > $FC_solar)
{
    $viabilidad = 'Implementar turbinas eólicas';
    $baterias = (floatval($consumoEnergia)*0.1) /0.9;
    $cantidad = ceil(floatval($consumoEnergia)/$E_eolica);
    $Textocantidad = $cantidad. " Turbinas Eolicas";
}
else if ( $FC_solar > $FC_eolica)
{
    $viabilidad = 'Implementar paneles solares';
    $baterias = (floatval($consumoEnergia)*0.4) /0.9;
    $cantidad = ceil(floatval($consumoEnergia)/$E_solar);
    $Textocantidad = $cantidad. " Paneles Solares";
}
else
{
    $viabilidad = 'Ambos son viables';
    $baterias = (floatval($consumoEnergia)*0.25) /0.9;
    $cantidad = floatval($consumoEnergia)/$E_eolica;
    $Textocantidad = $cantidad. " Elementos que desee";
}

$Resultadofinal = array(
    "E_eolica" => round($E_eolica,2),
    "E_solar" => round($E_solar, 2),
    "Eq_solar" => round($FC_solar, 2) ,
    "Eq_eolica" => round($FC_eolica, 2),
    "Viabilidad" => $viabilidad,

```

```

        "Baterias" => $baterias,
        "Cantidad" => $Textocantidad,
        "datos" => $historico
    );

header('Content-Type: application/json');
echo json_encode($Resultadofinal);

```

El código anterior muestra el código para solicitar el cálculo histórico

```

<?php

include_once('admin/conexiones/conexiones.php');

#capturar los últimos 30 datos, para lograr calcular las variables de entorno
$datos = Obtener_datos();

#var_dump($datos);

$data[] = array("radiacion" => $datos[0]["radiacion"], "ang_radiacion" =>
$datos[0]["ang_radiacion"],
                "temperatura" => $datos[0]["temperatura"], "velocidad" =>
$datos[0]["velocidad"],
                "densidad" => $datos[0]["densidad"], "presion" =>
$datos[0]["presion"]);

header('Content-Type: application/json');
echo json_encode($data);

```

El código anterior muestra el código de obtención de datos

## 9. Referencias Bibliográficas

- [1] «Energy Statistics Data Browser – Data Tools - IEA». <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsBySector> (accedido ago. 26, 2022).
- [2] «El apogeo de las energías renovables, el lado esperanzador de la crisis de la pandemia de coronavirus». Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/06/1475832> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [3] «La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI | Naciones Unidas». United Nations. <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [4] «La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible Desarrollo Sostenible». Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [5] J. Moorhead, T. Nixon, «GLOBAL 500 GREENHOUSE GAS REPORT: THE FOSSIL FUEL ENERGY SECTOR», Thomson Reuters, May 2015.
- [6] SolarPlack, <https://solarplak.es/energia/cual-es-la-relacion-entre-eficiencia-energetica-y-energia-solar>
- [7] «Universal circular economy policy goals Enabling the transition to scale». [En línea]. Available: [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org)
- [8] K. Sánchez, "EVALUACIÓN DE COSTO – BENEFICIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, COLOMBIA.", Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2021.
- [9] M. Esparza, "IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS DE GUAYAQUIL", Trabajo de titulación especial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2016.

- [10] J. Feijoo, "Proyecto de implementación de paneles solares en haciendas alejadas de la fuente de energía convencional. Caso: Hacienda "El Vado"", Proyecto de graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009. [12] J. Iturralde, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICO SOLAR Y EÓLICO PARA UNA CASA COMUNAL UBICADA EN EL SECTOR SAN ISIDRO ALTO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA DE ALÁQUEZ DEL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015", Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2015.
- [11] C. Coylo, "Diseño de un sistema de energía eólica para el suministro eléctrico de la localidad de Quinuabamba-PomabambaAncash", Trabajo de investigación, Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2019.
- [12] M. Villalobos, "Diseño de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en Aquitania-Boyacá", Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño, Tunja, 2021.
- [13] IRENA, "Estadísticas de Capacidad Renovable 2022", The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2022.
- [14] N. Terra. "5 US solar energy projects". Airswift - Global Technology and Engineering Workforce Solutions. <https://www.airswift.com/blog/solar-energy-projects-usa> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [15] "Pecan Prairie Solar Project | Home". Pecan Prairie Solar Project. <https://www.pecanprairiesolar.com/> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [16] "MS Solar 5 - Golden Triangle Solar plus Energy Storage". Origis Energy. <https://origisenergy.com/projects/ms-solar-5-golden-triangle/> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [17] "DESERT SUNLIGHT". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/desert-sunlight> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [18] "AGUA CALIENTE". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/agua-caliente> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [19] "CALIFORNIA VALLEY SOLAR RANCH". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/california-valley-solar-ranch> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [20] N. Terra. "5 US wind energy projects starting in 2021". Airswift - Global Technology and Engineering Workforce Solutions.

<https://www.airswift.com/blog/wind-energy-projects-usa> (accedido el 11 de septiembre de 2022).

- [21] N. Terra. "5 US offshore wind projects and skills needed for the 'Green New Deal'". Airswift - Global Technology and Engineering Workforce Solutions. <https://www.airswift.com/blog/offshore-wind-energy-projects-usa> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [22] "Our offshore wind farms". Renewable Energy Solutions to Fight Climate Change | Ørsted. <https://orsted.com/en/our-business/offshore-wind/our-offshore-wind-farms> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [23] "SOUTHFORKWIND\_COM". Offshore Wind Power for Long Island | South Fork Wind. <https://southforkwind.com/en> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [24] "About Revolution Wind". Offshore Wind Connecticut and Rhode Island | Revolution Wind. <https://revolution-wind.com/about-revolution-wind> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [25] "About Us | Atlantic Shores Offshore Wind". Atlantic Shores Offshore Wind. <https://www.atlanticshoreswind.com/about-us/> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [26] "SHEPHERDS FLAT". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/shepherds-flat> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [27] "GRANITE RELIABLE". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/granite-reliable> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [28] "RECORD HILL". Energy.gov. <https://www.energy.gov/lpo/record-hill> (accedido el 11 de septiembre de 2022).
- [29] Corporación para la Investigación Energética, ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA. Quito, 2008.
- [30] M. Armijos Cabrera, V. González Jaramillo y A. Fries, "CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS A SER USADAS COMO FUENTES DE ENERGÍA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR.", Revista Geoespacial, vol. 15, n.º 2, p. 13, agosto de 2019. Accedido el 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v15i2.1348>

- [31] R. Reynaga, "ANÁLISIS DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LA CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO", XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, 2015.
- A. Beltrán, M. Morera, F. López y R. Villela, "Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica", *CienciaUAT*, vol. 11, n.º 2, 2017.
- [32] WEC, World Energy Council (2013). World energy perspective cost of energy technologies. [En línea]. Disponible en: [http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC\\_J1143\\_CostofTECHNOLOGIES\\_021013\\_WEB\\_Final.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf)
- [33] EIA, U.S. Energy Information Administration (2016). Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the annual energy Outlook 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity\\_generation.pdf](https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation.pdf)
- [34] Núñez. "Generación eólica y solar fotovoltaica: ¿Qué tan variables son?" Portada - Breves de Energía. <http://www.brevesdeenergia.com/wp-content/uploads/2015-02-24-generacion-eolica-y-solar-fotovoltaica-que-tan-variables-son.pdf> (accedido el 5 de octubre de 2022).
- [35] "Electric Power Monthly - U.S. Energy Information Administration (EIA)". Homepage - U.S. Energy Information Administration (EIA). [https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=epmt\\_6\\_07\\_b](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_07_b) (accedido el 5 de octubre de 2022).
- [36] Mercado libre "Estacion Meteorologica multifuncional fj9930a" [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1840478190-estacion-meteorologica-profesional-multifuncional-fj3390a-JM?matt\\_tool=70147493&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14633851809&matt\\_ad\\_group\\_id=140203048250&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=644018830015&matt\\_keyword=&matt\\_ad\\_position=&matt\\_ad\\_type=pla&matt\\_merchant\\_id=778453577&matt\\_product\\_id=MCO1840478190&matt\\_product\\_partition\\_id=2163484154818&matt\\_target\\_id=pla-2163484154818&qad\\_source=1&qclid=Cj0KCQiAwP6sBhDAARIsAPfK\\_wY\\_aGOCAsbjPoLm8NAdsHRkVtCaxEpN5\\_Mk5K7WD0StZ03j3Zwkcb0aAkjiEALw\\_wcB](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1840478190-estacion-meteorologica-profesional-multifuncional-fj3390a-JM?matt_tool=70147493&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851809&matt_ad_group_id=140203048250&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=644018830015&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=778453577&matt_product_id=MCO1840478190&matt_product_partition_id=2163484154818&matt_target_id=pla-2163484154818&qad_source=1&qclid=Cj0KCQiAwP6sBhDAARIsAPfK_wY_aGOCAsbjPoLm8NAdsHRkVtCaxEpN5_Mk5K7WD0StZ03j3Zwkcb0aAkjiEALw_wcB)
- [37] G. Boyle, "Renewable Energy: Power for a Sustainable Future," Oxford University Press, 2012. ISBN-13: 978-0199545339.

- [40] D. A. Skoog, F. J. Holler, S. R. Crouch, "Principles of Instrumental Analysis," Cengage Learning, 2017. ISBN-13: 978-1305577213.
- [41] D. V. Schroeder, "An Introduction to Thermal Physics," Addison-Wesley, 2000. ISBN-13: 978-0201380279.
- [42] B. Sørensen, "Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning," Academic Press, 2019. ISBN-13: 978-0128136346
- [43] Smith, R. (2007). "An Overview of the Tesseract OCR Engine." In Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), vol. 2, pp. 629-633. IEEE