

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**  
**Carrera de Electricidad**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICO CON CONTROL DE POSICIÓN SOLAR**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Wilson Andrés Inguilan Ferigra

Director:

Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

Ibarra- Ecuador

2025



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |                                    |                 |            |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1004601439                         |                 |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Inguilan Ferigra Wilson Andrés     |                 |            |
| DIRECCIÓN:           | Luis Felipe Borja y Abelardo Mórán |                 |            |
| EMAIL:               | wainguilanf@utn.edu.ec             |                 |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062631290                          | TELÉFONO MÓVIL: | 0990166534 |

| DATOS DE LA OBRA                   |   |
|------------------------------------|---|
| TÍTULO:                            | IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CON CONTROL DE POSICIÓN SOLAR |
| AUTOR (ES):                        | Wilson Andrés Inguilan Ferigra  |
| FECHA DE APROBACIÓN:<br>DD/MM/AAAA | 31/01/2025  |
| PROGRAMA:                          | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO              |
| TÍTULO POR EL QUE<br>OPTA:         | Ingeniero Eléctrico   |
| ASESOR /DIRECTOR:                  | MSc. JHONNY JAVIER BARZOLA IZA  |

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de enero de 2025

### EL AUTOR:

Inguilan Ferigra Wilson Andres

1004601439



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

## CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, MSc. Barzola Iza Jhonny Javier en calidad de director del señor estudiante Inguilan Ferigra Wilson Andrés certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CON CONTROL DE POSICIÓN SOLAR"**.

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

MSc. Barzola Iza Jhonny Javier

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## DEDICATORIA

A Dios, por darme salud, fortaleza y sabiduría para superar cada obstáculo, y a la Virgen María, por ser mi amparo y guía maternal en los momentos difíciles. Gracias por sus bendiciones, por iluminar mi camino y permitirme alcanzar este sueño con fe y esperanza. Este logro es una muestra de su amor infinito y de la gracia divina que nunca me ha faltado. A ustedes encomiendo mi vida y mis futuros proyectos.

A mi abuelita María, mis tías Estela y Lourdes, mi padre Wilson, mi madre Verónica y mi hermano Steven, por guiar mi camino y ser el motor que me impulsa a alcanzar mis sueños. Gracias por sus enseñanzas y, sobre todo, por mostrarme que todas las metas y sueños requieren sacrificios. Por estar presentes en los momentos de alegría y en los más desafiantes. Este logro es más de ustedes que mío, porque sin su amor y apoyo, nada de esto habría sido posible. A Moly, por haber acompañado a mí y a mi familia, llenándonos de alegría y dejando una huella invaluable en nuestros corazones.

A mis amigos Elisabeth, Paty, Alex, Graciela, Jean que han estado presentes en los buenos y malos momentos con sus palabras de aliento.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por concederme salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío y alcanzar esta meta. Gracias por guiar mi camino con Tu luz y llenarme de esperanza en los momentos difíciles. A la Virgen María, por su protección y amor maternal, siempre presente como refugio en mi vida. Este logro es una muestra de su infinita gracia y bondad. A ellos encomiendo mi vida con gratitud y fe.

A mi tutor MSc. Jhonny Barzola, por su invaluable apoyo, paciencia y orientación a lo largo de este proceso. Su conocimiento, dedicación y consejos fueron fundamentales para alcanzar este logro. Gracias por compartir su sabiduría y por motivarme a seguir adelante en cada momento. Su guía ha sido clave en este camino académico.

A mi asesor MSc. Isabel Quinde, por su orientación y paciencia durante todo el proceso. Gracias por compartir su conocimiento, por sus valiosos consejos y por estar siempre dispuesto a ayudarme a superar los desafíos.

## Tabla de contenidos

|  |             |
|--|-------------|
| <i>AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</i> .....                       | <i>ii</i>   |
| <i>ACEPTACION DEL DIRECTOR</i> .....   | <i>iii</i>  |
| <i>DEDICATORIA</i> .....   | <i>iv</i>   |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> .....  | <i>v</i>    |
| <i>Tabla de contenidos</i> .....   | <i>vi</i>   |
| <i>Índice de Figuras</i> .....   | <i>ix</i>   |
| <i>Índice de Tablas</i> .....  | <i>xi</i>   |
| <i>RESUMEN</i> .....   | <i>xii</i>  |
| <i>ABSTRAC</i> .....   | <i>xiii</i> |
| <i>CAPITULO I</i>  |             |
| <i>1.1. Contextualización</i> .....  | <i>1</i>    |
| <i>1.2. Planteamiento del problema</i> .....   | <i>2</i>    |
| 1.2.1. El problema.....  | <i>2</i>    |
| <i>1.3. Objetivo general:</i> .....  | <i>2</i>    |
| 1.3.1. Objetivos específicos:.....   | <i>3</i>    |
| <i>1.4. Alcance del trabajo</i> .....  | <i>3</i>    |
| <i>1.5. Justificación</i> .....  | <i>4</i>    |
| <i>CAPITULO II</i>   |             |
| 2.1. Descripción de elementos de un sistema de micro generación con control de posición solar fotovoltaico. .... | <i>5</i>    |
| 2.2. Estructura de un sistema fotovoltaico fijo.....   | <i>5</i>    |
| 2.2.1. Factores que influyen en la generación fotovoltaica .....   | <i>6</i>    |
| 2.2.2. Módulos fotovoltaicos.....  | <i>8</i>    |
| 2.2.3. Acumuladores de energía.....  | <i>10</i>   |
| 2.2.4. Inversor .....  | <i>11</i>   |
| 2.2.5. Tipo de conexión On-Off Grid .....  | <i>11</i>   |
| 2.3. Sistemas con control de posición solar .....  | <i>12</i>   |
| 2.3.1. Aspectos importantes .....  | <i>13</i>   |
| 2.3.2. Sistemas de seguimiento .....   | <i>13</i>   |
| 2.3.3. Sensores.....   | <i>15</i>   |
| 2.3.4. Actuadores.....   | <i>16</i>   |
| 2.4. Generación Distribuida.....   | <i>18</i>   |
| 2.4.1. Normativas para generación de energía renovable .....   | <i>18</i>   |
| 2.4.2. Generación distribuida en Colombia .....  | <i>19</i>   |
| 2.4.3. Importancia de la generación distribuida .....  | <i>19</i>   |

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| 2.5.                | Estudios realizados para el aumento en la generación de energía eléctrica .....   | 20        |
| 2.5.1.              | Aumento en la eficiencia por efectos climáticos .....   | 22        |
| <i>CAPÍTULO III</i> |   |           |
| 3.                  | <i>Metodología para el sistema de control de posición que incrementa la captación de los rayos del sol en el panel fotovoltaico.....</i>  | <i>24</i> |
| 3.1.                | Métodos de investigación para el control de posición solar .....  | 24        |
| 3.1.1.              | Metodología de investigación cuantitativa .....   | 24        |
| 3.1.2.              | Metodología de investigación cualitativa .....  | 25        |
| 3.2.                | Descripción del lugar de estudio.....   | 25        |
| 3.2.1.              | Análisis del potencial solar y selección del lugar de implementación.....   | 25        |
| 3.2.3.              | Lectura del potencial solar y el sistema electromecánico en la investigación .....  | 28        |
| 3.3.                | Funcionamiento del sistema con control de posición solar.....   | 28        |
| 3.4.                | Parámetros del sistema .....  | 29        |
| 3.5.                | Procedimiento .....   | 29        |
| 3.6.                | Materiales.....   | 31        |
| 3.6.1.              | NASA (Predicción de los recursos energéticos mundiales) .....   | 31        |
| 3.6.2.              | AutoCAD .....   | 32        |
| 3.6.3.              | Paneles fotovoltaicos.....  | 32        |
| 3.6.4.              | Sensores de voltaje y corriente .....   | 32        |
| 3.6.5.              | Sensor de ángulo de inclinación .....   | 33        |
| 3.6.6.              | Sensor de temperatura.....  | 34        |
| 3.6.7.              | Motor.....  | 34        |
| 3.6.8.              | Elevador MPPT .....   | 34        |
| 3.6.9.              | Inversor.....   | 35        |
| 3.6.10.             | Microcontrolador .....  | 35        |
| 3.6.11.             | Arduino IDE.....  | 35        |
| 3.7.                | Dimensionamiento del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar integrado a la red eléctrica.....             | 36        |
| 3.7.1.              | Conexión de los módulos fotovoltaicos .....   | 37        |
| 3.7.2.              | Aspectos del sistema de control de posición solar.....  | 38        |
| 3.7.3.              | Reducción de la velocidad de giro del sistema de micro generación .....   | 38        |
| 3.7.4.              | Selección del inversor con conexión a la red eléctrica.....   | 40        |
| 3.7.5.              | Estructura de soporte para el sistema fotovoltaico con control de posición solar .....  | 40        |
| <i>CAPITULO IV</i>  |   |           |
| 4.                  | <i>Implementación de un sistema de control de posición que incrementa la captación de los rayos del sol en el panel fotovoltaico.....</i> | <i>42</i> |
| 4.1.                | Sistema de micro generación fotovoltaico fijo .....   | 42        |
| 4.1.1.              | Parámetros de orientación e inclinación .....   | 42        |

|   |    |
|---|----|
| 4.2. Sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar.....  | 43 |
| 4.2.1.    Parámetros de orientación e inclinación .....   | 44 |
| 4.2.2.    Conexiones del sistema fotovoltaico con control de posición solar .....   | 44 |
| 4.2.3.    Variables independientes del sistema de micro generación fotovoltaico.....                                      | 56 |
| 4.2.4. Variables dependientes del sistema de micro generación fotovoltaico.....   | 57 |
| 4.3.    Adquisición de datos de los sistemas de micro generación fotovoltaicos .....                                      | 59 |
| 4.3.1.    Etapas de pruebas: .....  | 60 |
| 4.3.2. Recolección de datos de variables independientes del sistema fijo y del sistema con control de posición solar..... | 61 |
| 4.3.3. Recolección de datos de variables dependientes del sistema fijo y del sistema con control de posición solar.....   | 63 |
| 4.4. Análisis y discusión de los sistemas de micro generación fotovoltaicos.....  | 66 |
| Conclusiones.....   | 70 |
| Recomendaciones.....  | 72 |
| Bibliografía .....  | 73 |



## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Fig. 1. Partes de un sistema fotovoltaico.....                                     | 5  |
| Fig. 2. Radiación directa, reflejada, difusa.....                                  | 7  |
| Fig. 3. Mapa de radiación solar en Ecuador.....                                    | 8  |
| Fig. 4. Conexión serie. ....   | 9  |
| Fig. 5. Conexión paralela. ....  | 9  |
| Fig. 6. Células fotovoltaicas; a) Monocristalina b) Policristalina c) Amorfo. .... | 10 |
| Fig. 7. Gráfico de carga y descarga. ....  | 11 |
| Fig. 8. Sistema fotovoltaico On Grid.....  | 12 |
| Fig. 9. Sistema con control de posición solar (Diagrama).....                      | 13 |
| Fig. 10. Bobinas Motor paso a paso.....  | 17 |
| Fig. 11. a) Día nublado. B) Día despejado. ....                                    | 21 |
| Fig. 12. Parámetro de diseño del sistema semiactivo.....                           | 22 |
| Fig. 13. Instalaciones de la carrera de electricidad.....                          | 26 |
| Fig. 14. Área disponible para el sistema fotovoltaico con control de posición..... | 27 |
| Fig. 15. Procedimiento para el presente trabajo de grado. ....                     | 30 |
| Fig. 16. Relación entre el nivel de irradiación y el Ángulo de inclinación. ....   | 36 |
| Fig. 17. Diagrama del sistema de generación eléctrica. ....                        | 38 |
| Fig. 18. Estructura de soporte. ....   | 41 |
| Fig. 19. Sistema fotovoltaico fijo.....  | 43 |
| Fig. 20. Pasos diarios del control de posición solar.....                          | 44 |
| Fig. 21. Área de implementación.....   | 45 |
| Fig. 22. Sistema fotovoltaico con control de posición. ....                        | 45 |
| Fig. 23. Diagrama de los dos sistemas. ....  | 46 |
| Fig. 24. Conexión serie del sistema fijo.....                                      | 46 |
| Fig. 25. Conexión de los dos sistemas.....   | 47 |
| Fig. 26. Actuador con reducción de 40:1.....                                       | 47 |
| Fig. 27. Diagrama de activación del actuador. ....                                 | 49 |
| Fig. 28. Pines de activación. ....   | 49 |
| Fig. 30. Conductor DC. ....  | 50 |
| Fig. 31. Especificaciones del conductor DC. ....                                   | 51 |
| Fig. 32. Diagrama de Bloques de alimentación del Laboratorio de Control. ....      | 52 |
| Fig. 33. Perforación y enrutamiento del cableado DC.....                           | 53 |
| Fig. 34. Ubicación del inversor monofásico. ....                                   | 53 |
| Fig. 35. Circuitos separados en el Laboratorio de Control.....                     | 55 |
| Fig. 36. Circuito de iluminación independizado. ....                               | 56 |

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Fig. 37. Sensores de: a) Ángulo de inclinación b) Temperatura .....</i>                  | <i>56</i> |
| <i>Fig. 38. Diagrama de conexión Prototipo de medición en AC.....</i>                       | <i>57</i> |
| <i>Fig. 39. Conexión física del prototipo en AC. ....</i>                                   | <i>58</i> |
| <i>Fig. 40. Diagrama de conexión del prototipo de medición en DC. ....</i>                  | <i>59</i> |
| <i>Fig.41. Conexión física del prototipo en DC. ....</i>                                    | <i>59</i> |
| <i>Fig. 42. Plataforma Adafruit IO.....</i>   | <i>60</i> |
| <i>Fig. 43. Datos de los parámetros independientes en un día nublado. ....</i>              | <i>62</i> |
| <i>Fig. 44. Datos de los parámetros independientes en un día despejado. ....</i>            | <i>62</i> |
| <i>Fig. 45. Comportamiento de la micro red en un día nublado. ....</i>                      | <i>63</i> |
| <i>Fig. 46. Comportamiento de la micro red en un día despejado. ....</i>                    | <i>64</i> |
| <i>Fig. 47. Generación del sistema fotovoltaico fijo en un día nublado. ....</i>            | <i>64</i> |
| <i>Fig. 48. Generación del sistema fotovoltaico fijo en un día despejado. ....</i>          | <i>65</i> |
| <i>Fig. 49. Generación del sistema fotovoltaico móvil en un día nublado. ....</i>           | <i>65</i> |
| <i>Fig. 50. Generación del sistema fotovoltaico móvil en un día despejado.....</i>          | <i>66</i> |
| <i>Fig. 51. Comportamiento de irradiación entre un día nublado y un día despejado. ....</i> | <i>67</i> |
| <i>Fig. 53. Comportamiento de la potencia DC entre nublado y un día despejado. ....</i>     | <i>69</i> |

## Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| <i>TABLA I Especificaciones Técnicas del Módulo 32_Fotovoltaico</i> ..... | 32 |
| <i>TABLA II Especificaciones Técnicas del Módulo Pzem-004t</i> .....      | 33 |
| <i>TABLA III Especificaciones Técnicas del Módulo Pzem-017</i> .....      | 33 |
| <i>TABLA IV Especificaciones Técnicas del Módulo MPU6050</i> .....        | 33 |
| <i>TABLA V Especificaciones Técnicas del Módulo DS18B20</i> .....         | 34 |
| <i>TABLA VI Especificaciones Técnicas del Motor</i> .....                 | 34 |
| <i>TABLA VII Especificaciones Técnicas del Inversor PW 3KVA</i> .....     | 35 |
| <i>Tabla IV De Acuerdo Con El Tipo De Vivienda</i> .....                  | 54 |

## RESUMEN

Los sistemas de micro generación fotovoltaicos fijos no aprovechan la captación de radiación solar que presenta la región andina al contar con un bajo porcentaje de nubosidad, por ende, este trabajo describe los elementos esenciales de estos sistemas, como sensores de irradiación solar, sensores de temperatura, sensores de voltaje y corriente en corriente alterna (AC) y continua (DC), y sistemas de seguimiento de uno o dos ejes. También se detallan los actuadores electromecánicos utilizados para ajustar la inclinación de los paneles solares, con el objetivo modificar un sistema fotovoltaico fijo a un sistema móvil. Estos componentes trabajan en conjunto para aumentar la vida útil del sistema y su capacidad de generación eléctrica.

La metodología aplicada relaciona un enfoque cuantitativo con el método experimental, con el objetivo de incorporar sensores y actuadores que varíen el ángulo de inclinación del sistema de micro generación fotovoltaico, por ende, es crucial el diseño de la estructura de soporte de 3 módulos fotovoltaicos (90 V, 8.25 A), el cálculo de la velocidad del actuador electromecánico (0.76 rpm), el dimensionamiento del inversor monofásico (1600 W, 100 V, 40 A) y la disposición óptima de los módulos fotovoltaicos (en serie). Además, se realizó un análisis exhaustivo de datos provenientes de NASA POWER, así como la selección precisa de la ubicación, orientación de los paneles solares e inclinación ( $20^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-20^\circ$ ). Cada componente del sistema, desde sensores hasta actuadores, fue evaluado técnicamente para garantizar su integración y correcto funcionamiento en conjunto del sistema con control de posición solar.

De acuerdo con los materiales seleccionados, la siguiente etapa se centra en la implementación y análisis del sistema de micro generación fotovoltaica con control de posición solar. Se seleccionó el Laboratorio de Control como sitio de instalación debido a la proximidad de un sub-tablero eléctrico al sistema de micro generación, lo que permitió la independencia de los circuitos de iluminación (217 W) y tomacorriente (proyector de 319 W). Además, se garantizó la correcta integración de los equipos eléctricos y electrónicos. En el análisis comparativo de generación eléctrica entre un día nublado y un día despejado, el funcionamiento del Laboratorio de Control no se vio afectado. Sin embargo, se registró una diferencia en la irradiancia de  $170 \text{ W/m}^2$  y en la temperatura de  $4.17^\circ\text{C}$ . En el caso del sistema móvil, en comparación con el sistema fijo, se obtuvo un incremento de 30 W promedio en la generación de energía.

**Palabras clave:** Voltaje (V), Corriente (A), Potencia (P), Irradiación ( $\text{k/m}^2$ ), Área ( $\text{m}^2$ ), Revoluciones por minuto (rpm), Angulo de inclinación ( $^\circ$ ), Grados Celsius ( $^\circ\text{C}$ ).

## ABSTRACT

Fixed photovoltaic microgeneration systems do not fully harness the solar irradiance available in the Andean region, which exhibits low cloud cover levels. Consequently, this study examines the fundamental components of these systems, including pyranometers for solar irradiance measurement, thermocouples for temperature monitoring, and voltage and current transducers for both alternating current (AC) and direct current (DC) circuits. Additionally, it addresses the implementation of single- and dual-axis solar tracking mechanisms. The study also details the integration of electromechanical actuators responsible for dynamically adjusting the tilt angle of photovoltaic modules, facilitating the transition from a fixed to a mobile photovoltaic system. These components operate in a coordinated manner to enhance system longevity, optimize energy capture, and improve overall electrical generation efficiency. The applied methodology combines a quantitative approach with the experimental method to integrate sensors and actuators capable of dynamically adjusting the tilt angle of the photovoltaic microgeneration system. This requires the structural design of the support framework for three photovoltaic modules (90 V, 8.25 A), the precise calculation of the electromechanical actuator speed (0.76 rpm), the electrical sizing of the single-phase inverter (1600 W, 100 V, 16 A), and the optimal electrical configuration of the photovoltaic array (series connection) to ensure efficient energy conversion. Furthermore, an in-depth analysis of meteorological and solar radiation data from NASA POWER was conducted, along with the optimal selection of the installation site, module orientation, and inclination angles (20°, 0°, -20°) to maximize energy capture. Each system component, from transducers and controllers to actuators, was technically evaluated to ensure proper electrical integration, system interoperability, and reliable operation within the solar position control system. Based on the selected electrical components, the subsequent phase focuses on the implementation and performance analysis of the photovoltaic microgeneration system with solar tracking control. The Control Laboratory was designated as the installation site due to the proximity of a secondary electrical distribution panel, facilitating the electrical segregation of the lighting circuits (217 W) and power outlets (projector: 319 W). This setup ensured the proper integration of power electronics and control systems. In the comparative assessment of electrical energy generation between overcast and clear-sky conditions, the operational stability of the Control Laboratory remained unaffected. However, a differential irradiance of 170 W/m<sup>2</sup> and a temperature variation of 4.17 °C were recorded. The mobile system, compared to the fixed photovoltaic system, demonstrated an average power output increase of 30 W.

**Key words:** Voltage (V), Current (A), Power (P), Irradiance (k/m<sup>2</sup>), Area (m<sup>2</sup>), Revolutions per minute (rpm), Angle of inclination (°), Degrees Celsius (°C).

# CAPITULO I

## 1.1. Contextualización

En las últimas décadas, la demanda eléctrica global ha crecido constantemente debido al aumento de la población, el desarrollo industrial y la adopción de nuevas tecnologías, por ende, se está optando cada vez más por el uso de recursos renovables como el uso de paneles fotovoltaicos, que no afecten el medio ambiente. Según [1] el 16% de la generación de energía eléctrica proviene de fuentes renovables. Se han encontrado trabajos de investigación con propuestas e ideas importantes que presentan un grado de similitud en la obtención de energía fotovoltaica como la demanda eléctrica en el sector comercial, residencial e industrial.

El tipo de seguimiento por ubicación-hora o el uso de sensores de captación de luz, las horas de máxima radiación solar, el porcentaje de nubosidad diario y orientación del panel fotovoltaico, los intervalos de medición y variación de la posición del sistema de generación fotovoltaico en periodos de tiempo óptimos. El tipo de conexión con la red eléctrica o abastecimiento autónomo con o sin almacenamiento de energía eléctrica.

Según [2] implementaron un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica Simón Bolívar, ya que su principal problema es la ausencia del servicio eléctrico. Mediante un estudio de demanda y carga, se realizó el diseño del generador fotovoltaico, controlador de carga e inversor, utilizando software y análisis matemático para calcular el tiempo de consumo diario de 5 horas y asegurar el abastecimiento continuo de energía con 2 paneles de 280 W y 24 V en DC. El grado de inclinación es de  $5.34^\circ$ , con un rango de pérdidas en el sistema del 65% de acuerdo con el transcurso del día.

Realizó [3] el diseño de un sistema de energía fotovoltaica para la facultad de ciencias ambientales de la universidad SEK, con el objetivo de satisfacer la demanda de 20 kW y obtener energía de la red eléctrica en los meses en que la demanda exceda la capacidad del sistema, evitando así fallas eléctricas. El diseño consistió en determinar el ángulo de inclinación óptimo  $15^\circ$  para maximizar la generación de energía eléctrica, teniendo en cuenta las condiciones como el 15% de margen, climáticas, irradiación solar, la nubosidad y la ubicación geográfica. Como resultado más importante, el sistema fue capaz de suministrar energía en un 107% del consumo anual de la facultad.

[5] Implementaron un prototipo de seguimiento solar mediante la ubicación del panel en determinados ángulos con seguimiento pasivo, para una estación de carga de carga de celulares utilizando paneles solares que su inversión económica sea baja, el proyecto consta con una tarjeta Arduino que controla el sistema de potencia con la capacidad de carga simultanea de 6 celulares con una autonomía de 24 horas al presentar días nublados. Determinando un incremento de 6V a 7 V y de 40W a 50 W en comparación con el panel estático, en los distintos intervalos de medición realizados cada 20 minutos durante 6 horas de sol pico o mayor luminosidad.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En Ecuador, debido su excelente ubicación geográfica recibe una gran cantidad de radiación solar durante todo el año, además [6], afirma que la región andina resalta por su potencial solar ya que presenta un bajo porcentaje de nubosidad en comparación con la región costera. Sin embargo, el uso de paneles fotovoltaicos de estado fijo en micro generación eléctrica se ve disminuidos en la capacidad de generación de energía eléctrica al desaprovechar la cantidad de radiación solar en el transcurso del día, dado que las partículas de luz deben incidir de manera directa en las celdas solares y de manera perpendicular con la superficie del panel, debido a la variación de posición del sol a lo largo del día, la mayoría de la radiación es reflejada al presentar un ángulo oblicuo en paneles fotovoltaicos de estado fijo, reduciendo la cantidad de electrones absorbidos por las celdas fotovoltaicas.

### **1.2.1. El problema**

¿Como implementar un sistema de micro generación eléctrica fotovoltaica con un sistema con seguimiento de posición solar que aumente la generación de energía eléctrica con respecto a un sistema fijo?

### **1.3. Objetivo general:**

- Implementar un sistema de micro generación eléctrica fotovoltaico con control de posición solar de un eje de giro vertical, mediante un sistema de control de inclinación y adquisición de datos para la mejora de generación eléctrica.

### **1.3.1. Objetivos específicos:**

- Describir elementos de un sistema de micro generación eléctrica con control de posicionamiento solar fotovoltaico.
- Diseñar un sistema de control de posicionamiento solar con un eje de orientación vertical que incremente la captación de los rayos del sol en el panel fotovoltaico.
- Analizar la capacidad de generación eléctrica del sistema de micro generación eléctrica con el control de posicionamiento solar.

### **1.4. Alcance del trabajo**

En el presente trabajo se realiza una descripción de elementos que aportan a la construcción de un sistema de micro generación solar fotovoltaico de forma autónoma y en conexión con la red eléctrica. Como mecanismos móviles, sensores, módulos de medición y parámetros de diseño que contribuyen al seguimiento solar, el cual cuenta con un sistema electromecánico de un eje de inclinación vertical como seguimiento solar cronológica, activa, pasiva y un sistema de adquisición de datos de parámetros como voltaje, corriente, potencia y energía eléctrica.

En la etapa de implementación, la estructura tendrá una dimensión de 5.20 metros de largo y 3.15 metros de ancho al contar con 3 paneles. Para determinar el ángulo de inclinación, se utilizará un sensor MPU6050 con movilidad de  $20^\circ$  a  $0^\circ$  en la mañana y de  $0^\circ$  a  $-20^\circ$  en la tarde. Además, cada panel fotovoltaico cuenta con los siguientes datos 250 W como potencia máxima, 1.5 amperios a  $25^\circ$  centígrados, conectados en paralelo con una potencia máxima 750 W a 24 V, conectados a un inversor monofásico de 24 V en DC a 120 V en AC con adquisición de datos de parámetros eléctricos en DC como voltaje, corriente y potencia; en AC de voltaje, corriente, potencia y energía eléctrica. Para la lectura de parámetros eléctricos, ángulo de inclinación y control de posición solar el sistema cuenta con una placa Atmega2560rev3 y una pantalla LCD OLED 0.9 para la visualización de datos. Se obtendrá un análisis comparativo del aumento generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico móvil con respecto al sistema fotovoltaico de estado fijo de eficiencia, temperatura del panel, voltaje, corriente, potencia y energía eléctrica.

Cabe recalcar que la adquisición de datos se realizará en las instalaciones de la carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte.



## 1.5. Justificación

De acuerdo a [1], “La generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, como el carbón, petróleo y gas natural, representa el 63% a nivel mundial”. Estos recursos son limitados y su agotamiento es inevitable, por lo que es necesario disminuir gradualmente nuestra dependencia de ellos y optar por la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. En este sentido, la implementación de paneles fotovoltaicos fijos en sectores comerciales, residenciales e industriales es cada vez más común ya sea como autoabastecimiento o en conexión con la red eléctrica denominados sistemas de micro generación.

[1] Señala que modificar los sistemas fotovoltaicos fijos a sistemas de seguimiento solar de un eje con movimiento Este-Oeste puede mejorar significativamente la eficiencia de hasta un 40% y una vida útil de 25 años, dependiendo de la ubicación geográfica de instalación. [6], señala que el costo de la implementación de energía solar fotovoltaica ha reducido al 82% desde el 2010. Esto es especialmente importante en sectores donde la radiación solar es constante a lo largo del año, ya que permite aumentar el voltaje, la corriente y la potencia generada al mantener una ubicación perpendicular constante entre el panel fotovoltaico y el movimiento del sol. Este sistema de seguimiento es de gran importancia al determinar el porcentaje de aumento en la eficiencia en generación de energía eléctrica mediante un análisis comparativo entre sistemas fotovoltaicos fijos y sistemas de seguimiento en determinadas zonas de acuerdo al tipo de clima.

## CAPITULO II

### 2.1. Descripción de elementos de un sistema de micro generación con control de posición solar fotovoltaico.

En el presente capítulo, se ofrece una breve descripción de los beneficios de sistemas de micro generación eléctrica fotovoltaica de acuerdo a las provincias que cuentan con mayor capacidad de generación de energía eléctrica por su elevado potencial solar y porcentaje de baja nubosidad. Se realiza una descripción de parámetros y elementos que conforman un sistema de micro generación fotovoltaico y elementos que aporten a la variación del ángulo de inclinación de dicho sistema con la finalidad de aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica.

### 2.2. Estructura de un sistema fotovoltaico fijo

Se denomina sistema fotovoltaico al conjunto de elementos electrónicos, mecánicos y eléctricos que cuentan con la capacidad de aprovechar la irradiación solar y convertirla en energía eléctrica [10], el sistema está conformado principalmente por módulos fotovoltaicos, inversores y bancos de baterías. Cabe recalcar que la corriente generada es en (DC) y transformada a (AC) mediante el inversor de ser necesario. Pueden estar conectados de forma autónoma o en conexión con la red eléctrica en la Fig.1. se puede notar la conexión [10].

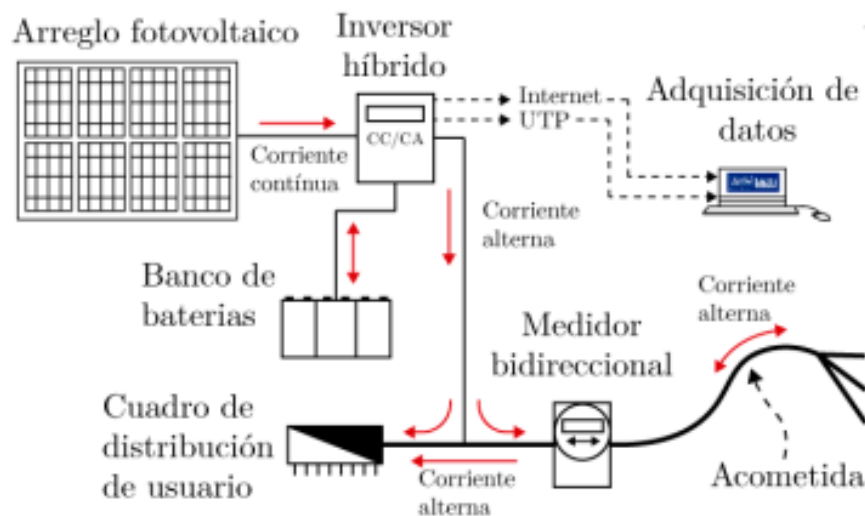


Fig. 1. Partes de un sistema fotovoltaico.

## **2.2.1. Factores que influyen en la generación fotovoltaica**

Los movimientos de la tierra con respecto al sol son fundamentales ya que producen los ciclos de día y noche también en la aparición de estaciones climáticas que dependen de la inclinación del eje de rotación de la tierra.

### **2.2.1.1. Movimiento de rotación y traslación**

El movimiento de rotación denominado en ingeniería mecánica como rotación de una pieza, es decir que un objeto sobre su propio eje da un giro completo en una unidad de tiempo por ejemplo segundos o minutos, en el caso de la tierra 24 horas y en astronomía denominado como movimiento de rotación terrestre [12].

Al usar como punto de referencia el sol, la tierra realiza un movimiento orbital es decir una vuelta completa en un año, por su grado de inclinación con respecto al eje de rotación de la tierra de  $23.5^\circ$  distintos lugares de la tierra reciben una cantidad de luz variable y tipos de estaciones climáticas equinoccio primavera y otoño, solsticio de invierno y verano [12].

### **2.2.1.2. Radiación solar**

La radiación solar en la actualidad es una de las fuentes de energía permanente y abundante en determinadas regiones por su ubicación geográfica, la cantidad de energía eléctrica consumida por toda la población es menor que la cantidad de energía solar recibida en un minuto en la superficie de la tierra [14].

La radiación solar directa viaja desde el sol hasta la superficie de la tierra sin ser difundida o dispersada por la atmósfera, al interactuar con partículas presentes en la atmósfera como gran presencia de nubes ocasionando su absorción, dispersión o reflexión en muy pocos casos Fig. 2. [16].

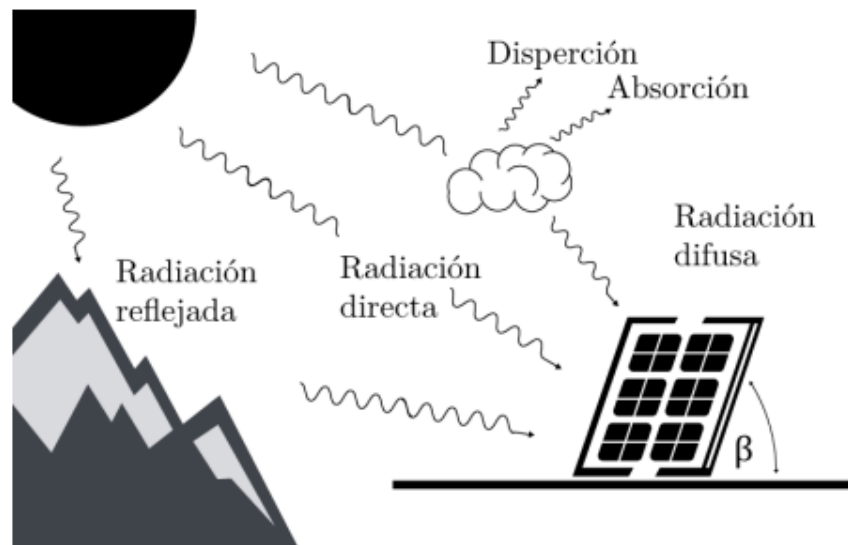


Fig. 2. Radiación directa, reflejada, difusa.

[11]

### 2.2.1.3. Potencial solar

En determinadas regiones la cantidad de energía solar por metro cuadrado es alta que es aprovechada mediante tecnologías como sistemas de concentración solar o sistemas solares fotovoltaicos dicho potencial depende del grado de inclinación, el clima local y la ubicación.

El rango de radiación solar se encuentre desde 2.9(kWh/m<sup>2</sup>) y 6.3(kWh/m<sup>2</sup>) en el día presenta mayor radiación solar en comparación con otros países por ejemplo la región peninsular de España recibe una radiación de 1.4(kWh/m<sup>2</sup>). En Ecuador el potencial solar varía de acuerdo a la región siendo la región Andina la más destacada en las provincias de Pichincha e Imbabura su potencial solar es de 4.5 a 5.7(kWh/m<sup>2</sup>) ya que gran parte de la población e industria se asienta en dichas provincias [17]. En la Fig. 3. se notó en la provincia de Imbabura que el nivel de radiación es más alto al presentar un tono rojo.

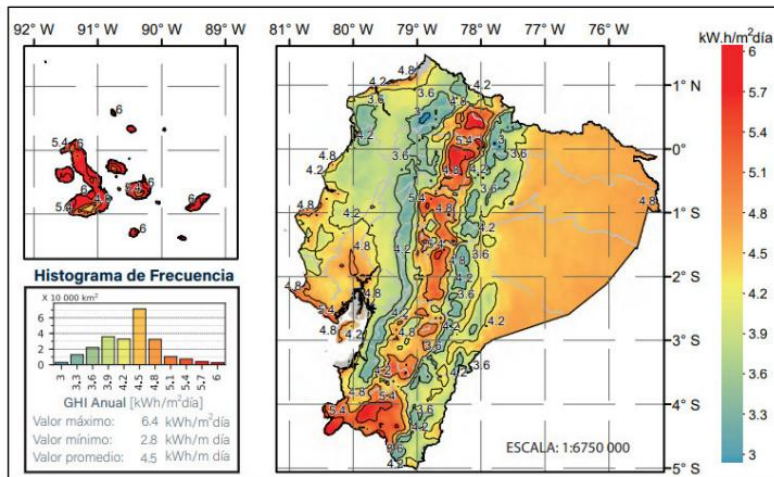


Fig. 3. Mapa de radiación solar en Ecuador.

[18]

En la actualidad las centrales hidráulicas conforman el 92% de generación eléctrica, el 7% de centrales termoeléctricas y el 1% pertenece a las fuentes no renovables (eólica, biomasa, fotovoltaica, entre otras). Para aprovechar el potencial de generación de energía eléctrica mediante recursos que brinda la naturaleza de forma ilimitada es necesario poner en marcha proyectos que incluyan energías renovables generando empleos, el uso de nuevas tecnologías y dinamizar la economía [17].

### 2.2.2. Módulos fotovoltaicos

La unidad mínima de captación de energía solar encargada de convertir los fotones de la luz solar en energía eléctrica, es la célula solar y la unión de varias células solares conectadas entre sí forman una sola estructura conocida como módulo solar fotovoltaico [20]. Dichos módulos fotovoltaicos pueden ser conectados en serie, paralelo y mixto. Los voltajes de salida de los módulos fotovoltaicos son de 12 o 24 V en corriente directa.

La conexión de los módulos en serie se da en cadena es decir el polo negativo del módulo 1 con polo positivo del módulo 2 y el polo negativo del módulo 2 con el polo positivo del módulo 3, la corriente es la misma y el voltaje se suma dependiendo de la cantidad de módulos conectados Fig. 4. [21].

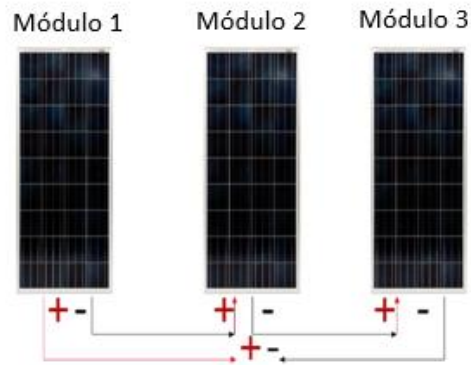


Fig. 4. Conexión serie.

[21]

La conexión de los módulos en paralelo se da en cadena es decir polo positivo del módulo 1 con polo positivo del módulo 2 y la misma conexión en los polos negativos, el voltaje es el mismo y la corriente se suma dependiendo de la cantidad de módulos conectados Fig. 5. [21].

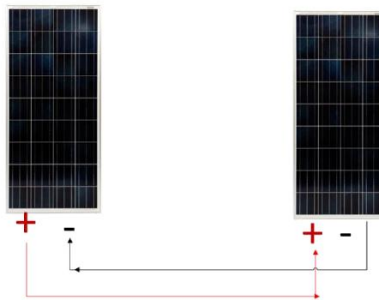


Fig. 5. Conexión paralela.

[21]

La conexión mixta combina la conexión de módulos en serie y paralelo, esta conexión aumenta la corriente y voltaje de salida al inversor.

Tipos de celdas:

Celdas de silicio que pueden ser monocristalino con un rendimiento de hasta 18% incluso en climas fríos, policristalinas con un rendimiento de hasta 14% usados en aplicaciones de baja generación eléctrica y amorfas con un rendimiento de hasta 9% como se puede notar en la Fig. 6. [22].

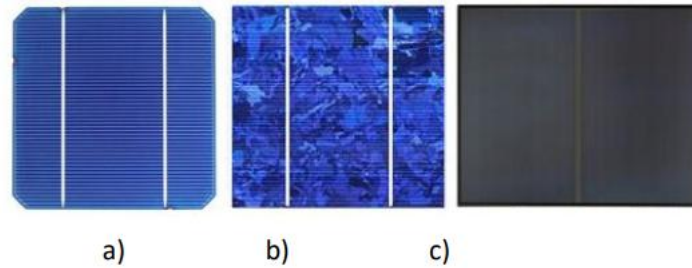


Fig. 6. Células fotovoltaicas; a) Monocristalina b) Policristalina c) Amorfo.

[11]

Celdas solares orgánicas cuentan con dos electrodos metálicos y un semiconductor orgánico entre ellos que cuenta como capa activa, un cátodo y un ánodo. Uno de los electrodos el ánodo que usualmente es un oxido conductor transparente (TCO) y su capa protectora usualmente de vidrio que permita la entrada de luz a la capa activa [24].

Celdas de telurio de cadmio es una tecnología que se basa en el telurio de cadmio en una película delgada, una capa semiconductor y muy delgada diseñada para convertir la luz solar en energía eléctrica [24].

### 2.2.3. Acumuladores de energía

En sistemas de energía fotovoltaicos cumplen con la función de acumular energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos en las horas de pico solar [12].

Las baterías de ciclo bajo son diseñadas para que en periodos cortos de tiempo puedan soportar pequeñas sobrecargas sin que se vean afectados los electrolitos por ende no soportan descargas profundas por debajo del 20% [12].

Las baterías de ciclo profundo son diseñadas para descargarse continuamente hasta en un 85% de su capacidad para almacenar energía de sistemas fotovoltaicos es una gran alternativa [12]. En la Fig. 7. se presenta la curva del número de ciclos de carga y descarga con respecto del porcentaje de profundidad.

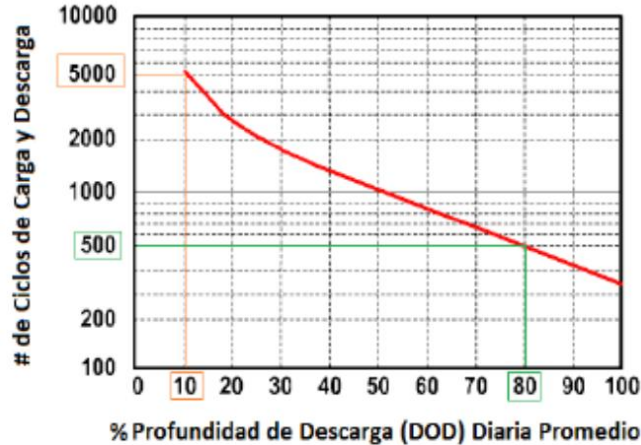


Fig. 7. Gráfico de carga y descarga.

[29]

#### 2.2.4. Inversor

Es el encargado de transformar una corriente directa en corriente alterna, ya que cuenta con monitores de frecuencia y voltaje de la línea que genera una onda sinusoidal similar a la de la red eléctrica. La potencia de un inversor es variada ya que depende de la potencia total suministrada por los paneles fotovoltaicos [12].

Los tipos de inversores según [26] son:

Inversores tipo cadena los paneles solares se encuentran conectados por cadena o líneas por ende necesario un inversor por línea de placa utilizados en instalaciones sin presencia de sombras.

Micro inversores se conectan a una placa solar transformando la corriente continua de forma individual ofreciendo mejores prestaciones que los inversores tipo cadena.

Optimizadores de potencia son una combinación de los inversores tipo cadena y los micro inversores permitiendo ajustar la curva individual de cada panel y recogiendo la energía eléctrica de cada uno.

#### 2.2.5. Tipo de conexión On-Off Grid

Son aquellos sistemas denominados On Grid que su micro generación de energía eléctrica se conecta de forma síncrona con la red eléctrica en la actualidad son



más comunes, estos sistemas fotovoltaicos On Grid son implementados por su proximidad en zonas urbanas y a diferencia de sistemas Off Grid o autónomos el suministro de energía eléctrica sería constante Fig. 8. [27].

Los principales requerimientos para la conexión con la red eléctrica según [28] son:

- La frecuencia debe ser igual o un tercio más alta a la de la red eléctrica.
- La secuencia de fase de los voltajes debe ser la misma.
- El ángulo de fase entre los voltajes debe estar dentro de los cinco grados.
- La magnitud de voltaje debe ser igual a la magnitud de voltaje de la red eléctrica.

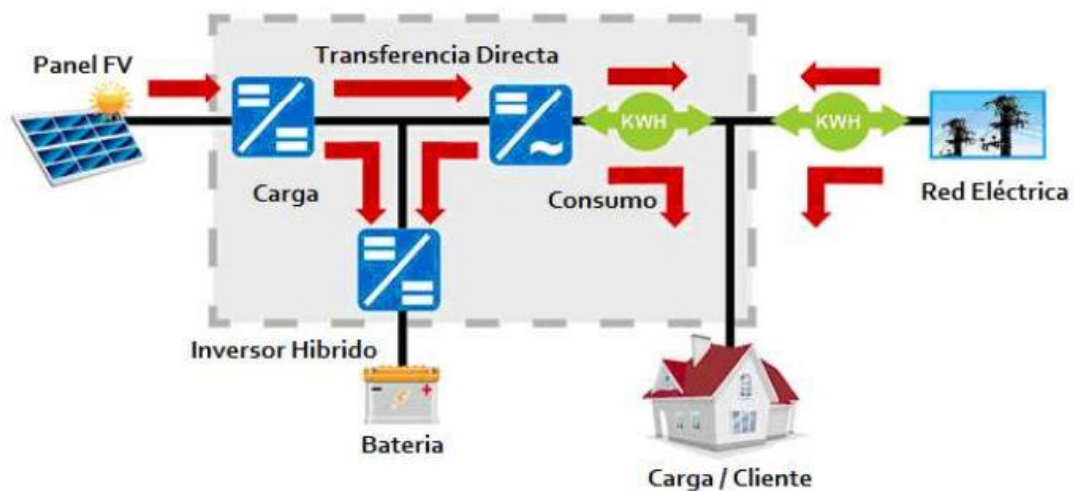


Fig. 8. Sistema fotovoltaico On Grid.

[11]

Los sistemas fotovoltaicos Off Grid o aislados producen energía eléctrica de forma independiente y en ausencia de la red eléctrica normalmente estos sistemas se encuentran instalados en lugares remotos y que cuentan con altos niveles de radiación solar directa por ejemplo islas o sectores rurales, necesitan de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica [29].

### 2.3. Sistemas con control de posición solar

Si el ángulo de inclinación de los módulos solares varía en el transcurso del día evitando reflejar la radiación incidente sobre los módulos solares, de tal manera aumenta la generación de energía eléctrica del sistema de generación fotovoltaico.

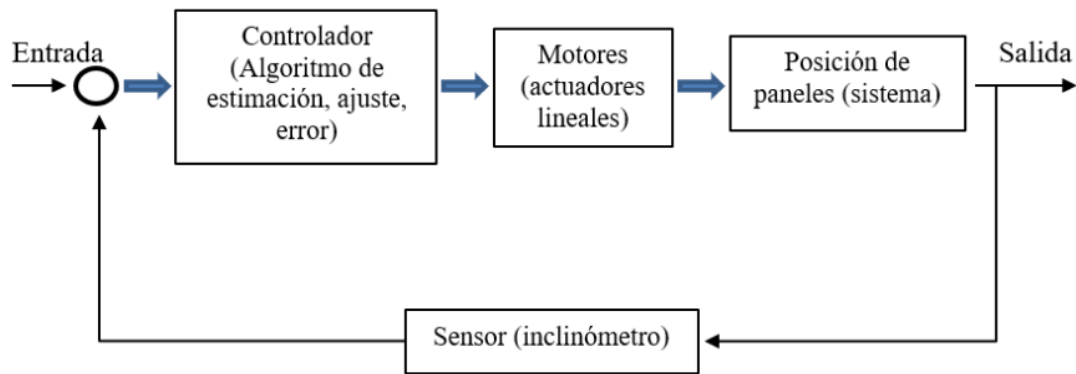


Fig. 9. Sistema con control de posición solar (Diagrama).

[60]

### 2.3.1. Aspectos importantes

Para modificar un sistema fotovoltaico fijo es importante tomar en cuenta el promedio de luz solar diario, la cantidad de radiación solar directa en el área, la humedad, y los elementos necesarios para modificar dicho sistema fotovoltaico fijo a un sistema fotovoltaico móvil como el uso de sensores que determinen la cantidad de luz que incide sobre los módulos fotovoltaicos, un sistema electromecánico y un sensor de inclinación que determinen la posición y un módulo que tome lecturas de la energía eléctrica generada Fig. 9.

#### Ventajas

- Aumento en la generación de energía eléctrica.
- En sistemas conectados a la red eléctrica reducen costos en la panilla.
- En la actualidad el costo de implementación de sistemas fotovoltaicos se ha reducido.
- Adaptabilidad en distintos tipos de condiciones climáticas.
- Reducción en la dependencia de generación eléctrica por combustibles fósiles.

### 2.3.2. Sistemas de seguimiento

Un sistema de seguimiento solar aporta en el incremento de generación de energía eléctrica con respecto a los sistemas fotovoltaicos fijos al recibir la radiación de forma directa durante las horas pico del sol entre las 10 de la mañana y 3 de tarde, su

movimiento se puede definir en uno o dos grados de libertad de acuerdo a su ubicación geográfica.

#### **2.3.2.1. Un eje de seguimiento**

Con respecto a la superficie y modificando el ángulo de inclinación el movimiento se realiza de forma horizontal con seguimiento de altitud solar y cuenta con la ventaja de que su barra de soporte se puede usar como eje de rotación.

Con respecto a la superficie el eje de rotación vertical permite el seguimiento Azimut ya que los paneles están ubicados sobre un poste que gira sobre su propio eje y se deben ubicar en el extremo superior con un ángulo fijo de inclinación este modelo no es muy utilizado por la separación entre postes [30].

#### **2.3.2.2. Dos ejes de seguimiento**

Son aquellos que combinan los dos ejes de movimiento el de altitud solar y Azimutal con respecto a la superficie que generalmente su disposición es perpendicular entre siendo el eje primario el de altitud solar y el secundario Azimutal, una de las ventajas más importantes es que el eje de rotación horizontal se puede incorporar una mayor cantidad de paneles de forma simple [30].

#### **2.3.2.3. Estrategias de seguimiento**

Seguimiento activo se emplea un sistema electrónico con sensores que interprete las señales entregando órdenes a los actuadores lineales encargados del ángulo de inclinación, generalmente se usa sensores de luz en sus extremos para determinar si la radiación incide de forma directa [30].

Seguimiento cronológico cuenta con un sistema programable en base a coordenadas geográficas y conocimientos astronómicos que almacena información de la posición del sol a lo largo de cada día del año sin tomar cuenta los cambios [30].

Seguimiento pasivo no necesita de una fuente de energía externa y usa la energía de los rayos solares ya que emplea elementos con propiedades térmicas

convirtiendo la energía térmica en energía mecánica y así realizar el seguimiento solar [30].

### **2.3.3. Sensores**

En todo sistema que cuente con adquisición de datos es importante el uso de sensores ya que son los encargados de captar magnitudes físicas y convertirlas en señales eléctricas analógicas o digitales, para seleccionar el tipo de dispositivo es importante considerar la magnitud y su rango de medición de la señal deseada [31].

#### **2.3.3.1. Sensor de luz**

El funcionamiento básico de un foto-resistencia es aumentar o disminuir su valor según la cantidad de luz incidente, es decir a mayor intensidad de luz el valor de la resistencia es pequeño y a menor intensidad de luz el valor de resistencia aumenta, su tiempo de respuesta se acerca a una décima de segundo [33].

#### **2.3.3.2. Sensor de inclinación**

Los acelerómetros se basan en la segunda Ley de Newton y la ley elástica de Hooke. El mecanismo consta de una masa, un muelle y un resorte dentro de un cilindro, la masa al estar conectada con el resorte se estira o se comprime al presentar una aceleración únicamente longitudinal [34]. Los giroscopios de masa giratoria se basan en el principio del momento angular. Está formado por un disco giratorio que se encuentra sobre un eje libre y el disco gira a una gran velocidad [34].

#### **2.3.3.3. Sensor de voltaje y corriente**

Son dispositivos que convierten las señales de voltaje, corriente alterna o continua al ser magnitudes eléctricas medibles, ya que generan una señal proporcional mucho más pequeña que la real en una señal analógica o digital, que son enviadas a un microprocesador [37].

### **2.3.4. Actuadores**

Un actuador en un dispositivo mecánico cuya función es ejecutar una acción, proporcionar una fuerza para ejercer un cambio de posición, cambio de velocidad, modificar una fuerza ejercida o cambio de estado a partir de información adquirida de un sensor o un microcontrolador.

#### **2.3.4.1. Motor eléctrico**

Los motores eléctricos son dispositivos electromagnéticos rotatorios que mediante un campo magnético convierten la energía eléctrica en energía mecánica los cuales, con usos para la adecuación en procesos industriales como sistemas de refrigeración, transporte, entre otros. Para el caso de variar el ángulo de inclinación de un sistema de micro generación fotovoltaico son de suma importancia por ende los más destacados son el motor de inducción, motor paso a paso, servomotor.

El motor de inducción también denominado asíncrono opera con corriente alterna y mediante la inducción electromagnética en la bobina del estator genera una torsión necesaria para producir el giro del estator que este compuesto por un cilindro con chapas una alado de otra. Entre sus características más importantes del motor de inducción monofásico es su simplicidad y costo reducido teniendo múltiples aplicaciones [38].

Ya que estos motores presentan altas revoluciones por minuto es necesario el acople de transmisión por cadena, poleas o un reductor de velocidad que incorpora piñones.

#### **2.3.4.2. Motor paso a paso**

El principio de funcionamiento de un motor paso a paso es mucho más simple que el de otros tipos de motores, presentan dos tipos, uno de reluctancia variable y el otro de imán permanente. Si el estator del motor tiene tres bobinas conectadas típicamente como en la Fig. 10. con un terminal en común con todas las bobinas, se denomina de reluctancia variables [40].

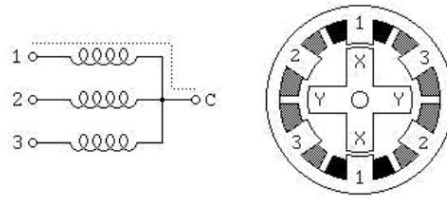


Fig. 10. Bobinas Motor paso a paso. [40]

Los motores de imán permanente unipolares dependiendo de su conexionado interna cuentan con cinco o seis cables en su salida, cuatro cables que reciben los pulsos que indican la duración de los pasos y la secuencia y los restantes sirven como alimentación del motor [42].

Los motores bipolares por lo general tienen 4 cables de salida, necesitan de ciertas modificaciones para ser controlados, ya que requieren un cambio de dirección del flujo [42].

#### 2.3.4.3. Servomotor

Es un actuador rotativo que permite un control preciso en cuanto a aceleración, velocidad del eje y posición angular, para su posicionamiento en su interior cuenta con un motor normal y un sensor que combinados sirven como retroalimentación [45].

El controlador servo es un variador de velocidad diseñado para el control de servomotores usando un convertidor para el voltaje de entrada y un inversor para el voltaje de salida aplicado al motor determinado por un circuito que determina su posición angular [45].

#### 2.3.4.4. Actuador lineal electrónico

Estos elementos son accionados por una corriente eléctrica, su estructura es sencilla en comparación con actuadores hidráulicos y neumáticos ya que solo necesita de energía eléctrica para su funcionamiento [47].

## **2.4. Generación Distribuida**

La generación distribuida es un concepto relativamente nuevo y se enfoca en la generación de energía eléctrica mediante micro redes, que cuentan con la capacidad suficiente para cubrir la demanda de energía [48]. Utilizan unidades modulares pequeñas de generación eléctrica que son instaladas en empresas distribuidoras de servicio eléctrico, que pueden estar conectadas a la red o de manera aislada mejorando la calidad de energía eléctrica y disminuyendo el costo de la facturación del servicio [21].

La IEEE (Instituto de Electrical and Electronics Engineers) define a la generación distribuida como la generación de energía eléctrica por medios y tecnologías relativamente más pequeñas que las generadoras convencionales y que además permiten la interconexión a casi cualquier punto del sistema eléctrico de potencia además interactuando entre las redes eléctricas [49].

Otra interpretación manifiesta que la generación distribuida puede ser definida como tecnologías de generación eléctrica por debajo de 10 MW que pueden estar situados cerca de los centros de consumo [49].

### **2.4.1. Normativas para generación de energía renovable**

Todos los generadores y auto generadores que dispongan de una unidad o planta con capacidad nominal igual o mayor a 1 MW y que se encuentren habilitados para participar en actividades del sector eléctrico estarán sujetos al despacho centralizado del CENACE. No se sujetan a participar los auto generadores cuya central se encuentre junto a la demanda y sus excedentes sean menores a 1 MW [50].

El sistema de generación distribuida (SGDA) depende netamente del consumidor, en base a un estudio técnico de consumo anual se realiza el dimensionamiento de la potencia nominal. La producción anual del SGDA debe ser menor o igual a la producción del consumidor [50].

Para auto generación y generación síncrona con la red el despacho considera que el costo variable de producción tiene un valor de cero al ser consideradas como fuentes renovables de energía eléctrica no convencionales [50].

Consideraciones de [51] acerca de auto consumo o auto generación que es aprovechado en tiempo real, no se contabiliza en el sistema por ende no se generan

cobros adicionales por transporte. El net metering o medición de energía neta, si el usuario cuenta con un exceso de energía eléctrica que no se consumió e inyecta estos excedentes a la red, obtiene crédito para futuros consumos compensando la electricidad comprada en otro momento. El net billing o facturación neta donde los generadores distribuidos que cuentan con energía producida en exceso pueden vender dicho exceso a la empresa distribuidora inyectándola a la red.

Con respecto a la normativa de Ecuador no cuenta con lineamientos para generación de energía eléctrica a pequeña escala por lo tanto se realizó una búsqueda de información en la normativa de Colombia con la finalidad de encontrar directrices útiles acerca de autoconsumo e inyección de energía eléctrica a la red.

#### **2.4.2. Generación distribuida en Colombia**

Generación distribuida en Colombia distingue entre generación distribuida y auto generación que aplica a personas naturales jurídicas, cuyo objetivo es satisfacer una demanda energética propia a diferencia de la generación distribuida se desarrolla por personas naturales o jurídicas que cerca a los centros de consumo generan energía eléctrica conectados a la red del sistema. Para los dos casos el marco normativo permite la inyección de excedentes a la red eléctrica denominado exportación de energía, cabe recalcar que la normativa realiza una distinción de pequeña y gran escala para auto generación [51]. Dentro de las diferencias más importantes con respecto a la normativa de Ecuador es que los usuarios con una potencia igual o mayor a 100kW deben presentar informes mensuales acerca de la generación de energía eléctrica y estado de los equipos de generación. Para el caso de autogeneración a pequeña escala los excedentes de energía procedentes de fuentes no convencionales serán reconocidos como créditos de energía [56].

#### **2.4.3. Importancia de la generación distribuida**

La generación distribuida se fija en el uso estratégico de nuevas tecnologías, realizando un proceso de búsqueda para mejorar la forma de transmitir la energía eléctrica. Por esta razón se utilizan los modelos de energía renovables que pretenden considerarse como fuentes de generación distribuida estas tecnologías pueden ser sistemas fotovoltaicos, motores a Diesel, sistemas eólicos, entre otros [21].



Unas de las características más importantes según [51] son:

Reduce las pérdidas en la red eléctrica al estar más cerca de los centros de consumo se supone que las redes de transporte sean más cortas por ende las pérdidas en transporte de electricidad desde los puntos de generación hasta los puntos de consumo se reducen.

Brinda una mejora en la eficiencia energética y fiabilidad ser pequeñas fuentes de micro generación repartidas cerca de los centros de consumo el fallo de una de dichas micro generaciones no afecta gravemente al sistema eléctrico.

Presenta un sistema de distribución más flexible mejorando la capacidad del sistema eléctrico para suministrar energía eléctrica sin sufrir interrupciones del servicio eléctrico en las horas de alto consumo.

Unas de las ventajas más importantes según [21] son:

- Permite distribuir la cantidad de energía que se pretendía almacenar.
- Los clientes reciben un servicio de mayor confiabilidad y calidad.
- Disminución de los costos de energía eléctrica.
- Reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero.

Unas de las desventajas más importantes según [51] son:

- Fluctuaciones de voltaje que afecten a los consumidores.
- Exige mejoras en los sistemas de adquisición de datos.
- El costo de inversión inicial es alto.
- La carencia de metodologías para la interconexión de pequeños generadores.

## **2.5. Estudios realizados para el aumento en la generación de energía eléctrica**

De acuerdo con [52] los estudios comparativos de sistemas fotovoltaicos fijos con respecto a sistemas fotovoltaicos móviles son de gran importancia, ya que determinan el incremento en el rendimiento de un rastreador solar de doble eje denominado (DATS) con respecto a sistema solar de eje fijo denominado (SSS) y aumentar la eficiencia del sistema con respecto a su potencia generada. El SSS se implementó en con un ángulo de 75 ° en dirección sur y el DATS tiene una libre orientación en inclinación [52]. En la

Fig. 11. literal a) se obtuvo mediciones de potencia en las que el DATS generó más que el sistema SSS, en el literal b) en un día despejado de nueve de la mañana a una de la tarde su potencia es muy similar ya que los dos sistemas cuentan con el mismo grado de inclinación [52]. Para determinar el correcto funcionamiento sistema DATS es necesario ejecutar el accionamiento de los sensores y actuadores en un mínimo de activaciones por día por esta razón las oscilaciones del sistema es un aspecto muy importante.

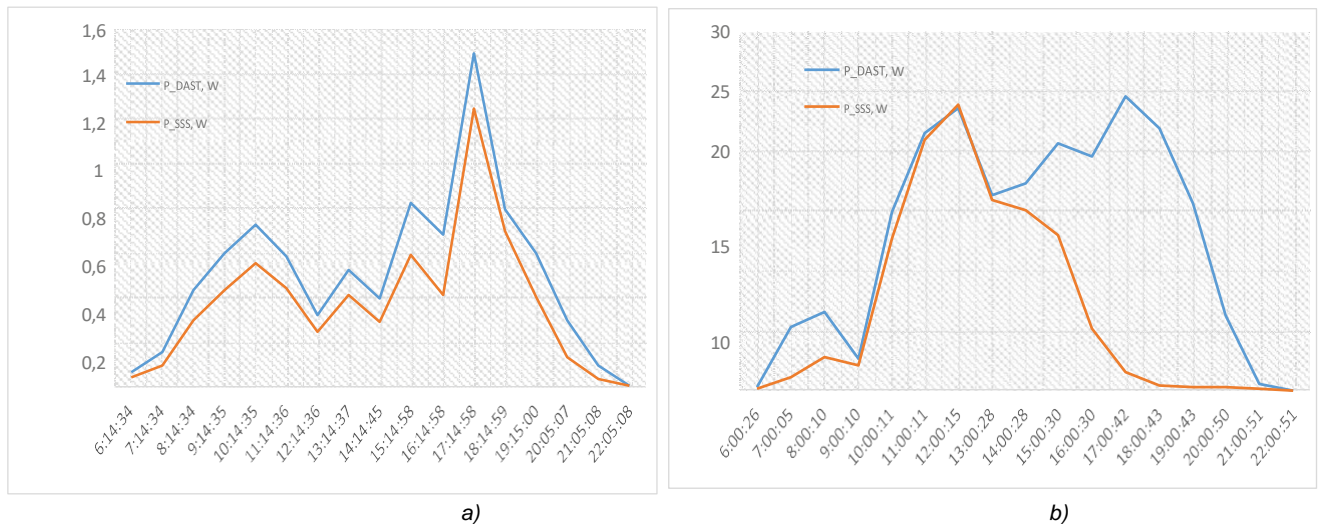


Fig. 11. a) Día nublado. B) Día despejado.

[52]

Un problema con los rastreadores solares es la posibilidad de fallas en el seguimiento y fallas en el sistema de control que pueden ser causadas por una falla en el sensor [53].

La oscilación se produce por la inexistencia de un sistema amortiguador en el seguidor activo. Por lo tanto, necesita un sistema de control estable y sin oscilaciones que pueda seguir los movimientos solares lentos. En base a estas explicaciones, el sistema de seguimiento solar debe considerar la configuración de los ejes de seguimiento, la optimización del movimiento y el sistema de control adecuado para obtener una mayor eficiencia [54].

Para evitar oscilaciones debido al movimiento del motor y modificar el ángulo de inclinación es bueno agregar una masa ajustar el valor de rigidez y la amortiguación, este sistema es denominado sistema semiactivo ya que con una energía mínima la masa aún puede moverse y así reducir el consumo de energía [54]. En la Fig. 12. para evitar oscilaciones al cambiar el ángulo de inclinación se ajusta el valor de la constante c.

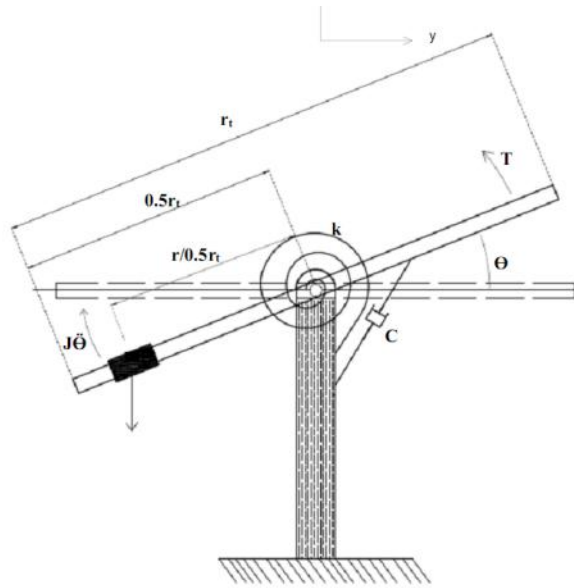


Fig. 12. Parámetro de diseño del sistema semiactivo.

[54]

### 2.5.1. Aumento en la eficiencia por efectos climáticos

Si las condiciones climáticas cambian con respecto a las estaciones del año y los días despejados son remplazados por nubosidad variable y lluvias por ende instalar un panel solar adicional al sistema de generación en una posición horizontal la generación de energía eléctrica acrecienta [55], no obstante, los sistemas de seguimiento solar con sensores de luz no se encuentran adaptados a climas con nubosidad y lluvia incluso los seguidores que funcionan en base a cálculos astronómicos no detectan la presencia de nubes [55].

Al detectar nudosidad o lluvia en tiempo real el sistema de control determina un aumento en corrientes de salida del panel fotovoltaico que se encuentra fijo y su potencia es pequeña, el panel fotovoltaico con seguimiento solar tendrá una corriente de salida menor en comparación con el panel de estado fijo por ende el panel con seguimiento solar tendrá el mismo grado de inclinación que el panel fotovoltaico de estado fijo [55].

En este capítulo se proporcionó una descripción exhaustiva sobre los sistemas de micro generación fotovoltaica, que abarca desde su configuración más elemental hasta su complejidad más avanzada. Esto incluye la disposición de los módulos fotovoltaicos, ya sea en serie o en paralelo, así como la integración de sistemas de almacenamiento de energía y la selección de inversores con capacidad de conexión a la red eléctrica o para el autoconsumo.

Además de estos aspectos técnicos, se exploran factores críticos como la selección de la ubicación geográfica adecuada, el análisis del potencial solar disponible, el uso de ejes de seguimiento, la implementación de sensores, actuadores y la evaluación de los distintos tipos de seguimiento solar.

Asimismo, se profundiza en las ventajas que ofrece la conexión a la red eléctrica, destacando la importancia de la generación distribuida en el marco de la normativa para el autoconsumo. Se analizan las diferencias en las curvas de potencia entre sistemas de paneles fijos y móviles. Se examinan estudios relacionados con respecto a oscilaciones del sistema de control y estrategias de optimización adaptadas a las condiciones climáticas específicas.

## **CAPÍTULO III**

### **3. Metodología para el sistema de control de posición que incrementa la captación de los rayos del sol en el panel fotovoltaico**

En este capítulo, se proporciona una breve descripción del tipo de metodología a emplear, así como recursos, materiales y el procedimiento empleado para llevar a cabo el presente trabajo de grado. La estructura se divide en tres partes fundamentales: las metodologías de investigación empleadas, la ubicación y la razón de implementación, los materiales y recursos necesarios. Cada parte contiene la información necesaria para el diseño del sistema de micro generación solar fotovoltaico con control de posición.

#### **3.1. Métodos de investigación para el control de posición solar**

En vista de que la propuesta tecnológica radica en el aprovechamiento del potencial solar en la región Andina y el aumento en la capacidad de generación eléctrica de un sistema de micro generación fotovoltaico, por ende, es necesario afrontar los desafíos que conforman la implementación de dicho sistema por lo tanto es necesario emplear un enfoque en el método experimental.

Al ser una propuesta tecnológica además de la naturaleza del problema de investigación del presente trabajo de grado y de los objetivos de estudio. De las principales metodologías de investigación serán utilizadas dos: cuantitativas y cualitativas. Cabe recalcar que la metodología de investigación principal es la metodología cuantitativa.

##### **3.1.1. Metodología de investigación cuantitativa**

Es un enfoque metódico que recopila datos y los analiza con el fin de comprender, explicar y describir el comportamiento de un fenómeno. Los aspectos más importantes por seguir son: contextualización del estudio, definición de variables, recopilación de datos y análisis de los datos [27].

### **3.1.2. Metodología de investigación cualitativa**

Es un enfoque metódico que recopila información no numérica, es decir depende de un análisis y razonamiento complejo entorno a la solución del problema de investigación.

## **3.2. Descripción del lugar de estudio**

Seleccionar un lugar que cuente con una gran cantidad de radiación directa en un determinado punto y un amplio horario de punto máximo de irradiación es fundamental, debe estar libre de sombras en el transcurso del día ya que las sombras pueden ser ocasionadas por edificios aledaños, no deben estar ubicado en un lugar con mucho polvo o techos con fallas estructurales además dichos sistemas de micro generación fotovoltaica deben estar ubicados donde el acceso a las personas sea limitado para evitar posibles afectaciones en los equipos Fig. 14.

La implementación del sistema de micro generación solar fotovoltaico con control de posición solar se realiza en las instalaciones de la carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte.

### **3.2.1. Análisis del potencial solar y selección del lugar de implementación**

El sitio elegido fue el edificio de laboratorios de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte con coordenadas aproximadas  $0.36^\circ$  de latitud y  $-78.12^\circ$  de longitud, ya que el proyecto debe contar con un gran porcentaje de radiación directa, gran cantidad de horas de pico solar, libre de sombras en el transcurso del día Fig. 13.



Fig. 13. Instalaciones de la carrera de electricidad. (Google Maps 2024)

Para el presente trabajo de grado la superficie necesaria es de  $4.95 \text{ m}^2$  (Ecuación (1)) que corresponde a 3 módulos fotovoltaicos, en la Fig.14 se presenta el plano arquitectónico de los laboratorios de la Carrera de Electricidad y se resalta el área destinada para la implementación del proyecto.

Ecuación (1):

$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Largo} \quad (1)$$

Donde:

Ancho= 3 m

Largo=1.65 m

$$\text{Área}= 4.95 \text{ m}^2$$

Para la implementación del presente trabajo de grado se realizó previamente la identificación de cargas por área de uso, consiste en realizar una modificación de los circuitos de iluminación en conexión On Grid de dos aulas del edificio de la Carrera de Electricidad.

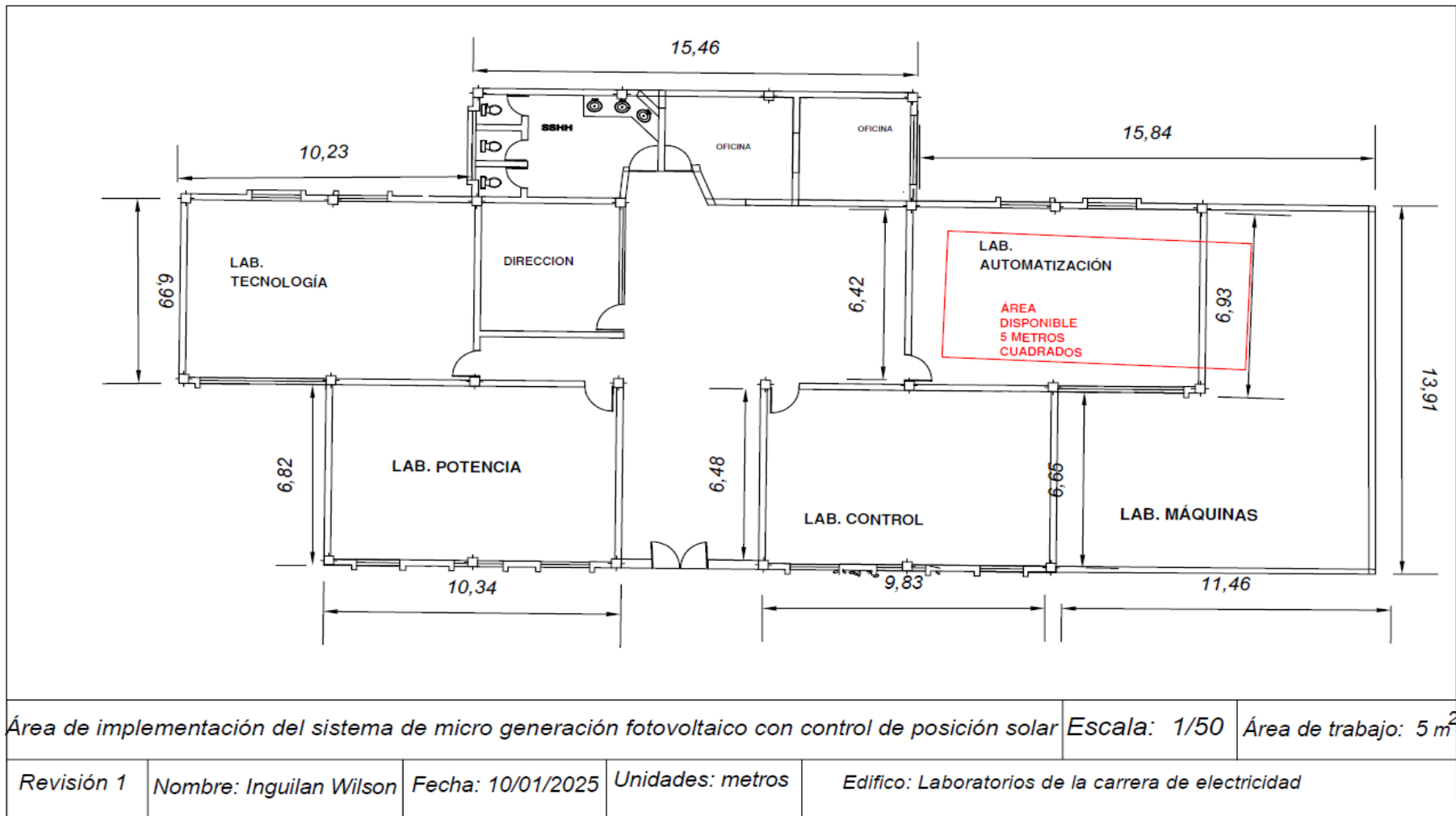


Fig. 14. Área disponible para el sistema fotovoltaico con control de posición.



### **3.2.3. Lectura del potencial solar y el sistema electromecánico en la investigación**

Dentro del presente trabajo de grado es fundamental la obtención de datos de irradiancia medida en  $W/m^2$  y por una unidad de tiempo, voltajes e intensidades de corriente en DC en la entrada y AC en la salida del inversor, además de los pasos generados por el sistema electromecánico en el transcurso del día. Con lo antes mencionado destaca el enfoque cuantitativo ya que los datos obtenidos permiten determinar rangos de funcionamiento y un comportamiento estable de cada etapa del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar ya que se conectará de forma síncrona con la red eléctrica.

Mediante un enfoque cualitativo determinar programas computacionales, los materiales y algoritmos de diseño necesarios para la implementación del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar.

### **3.3. Funcionamiento del sistema con control de posición solar**

Los sistemas de control o seguimiento solar están determinados para exponer los módulos fotovoltaicos en todo momento a la máxima radiación y que su ángulo se aproxime a la perpendicularidad entre el módulo fotovoltaico y los rayos solares en el transcurso del día también se modificará para acoplarse a los cambios estacionales [56].

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta es el peso de los módulos fotovoltaicos y el tipo de motor que cuente con el torque necesario para mover dichos módulos y la velocidad promedio con la cual cambiará de posición el sistema de micro generación eléctrica. Para el diseño de la estructura y el sistema electromecánico se hizo uso del software SolidWorks [57].

Mediante un algoritmo de control se toma valores de una fotorresistencia situados en cada extremo del módulo fotovoltaico, datos que son mapeados y procesados a través de uno o más microcontroladores a través de sus entradas analógicas. Mediante un análisis deductivo se determinó que el algoritmo de control busca mover el panel fotovoltaico al determinar una diferencia entre las fotorresistencias, si la diferencia está dentro de un rango de 0.3 V a 0.5 V generando un aumento de la generación de energía eléctrica [58].

La sincronización con la red eléctrica se da cuando un generador opera en frecuencia y en fase con la red principal ya que deben coincidir entre el generador y la red eléctrica. La conexión con la red eléctrica se puede dar en dos formas: sin un sistema de almacenamiento con el fin de reducir gastos en la planilla eléctrica y con un sistema de almacenamiento con la misma reducción y la ventaja extra en que si se presenta un posible fallo de la red eléctrica existiría un respaldo de energía eléctrica [59].

### **3.4. Parámetros del sistema**

En la etapa de dimensionamiento del sistema de micro generación fotovoltaica, se contempla un sistema fijo y un sistema con control de posición solar que suministran de energía eléctrica al Laboratorio de Control, por ende, se tomó en cuenta los siguientes parámetros como indispensables:

- Ángulo de inclinación e irradiación solar
- Demanda eléctrica del circuito de iluminación y tomacorriente en AC (voltaje, corriente, potencia).
- Capacidad instalada del sistema de micro generación en DC (voltaje, corriente, potencia).
- Datos de operación del inversor monofásico tanto en AC como en DC (voltaje, corriente, potencia).

Cabe recalcar que la adquisición de datos se realiza en las instalaciones de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte.

### **3.5. Procedimiento**

En este segmento, se plantea con exactitud los pasos a ejecutar en el presente trabajo de grado con un enfoque sistemático aplicado con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados previamente asegurando la solución del problema de investigación. Dentro de cada objetivo se determinó actividades que sigan un comportamiento lineal y aseguren el cumplimiento de cada objetivo específico.

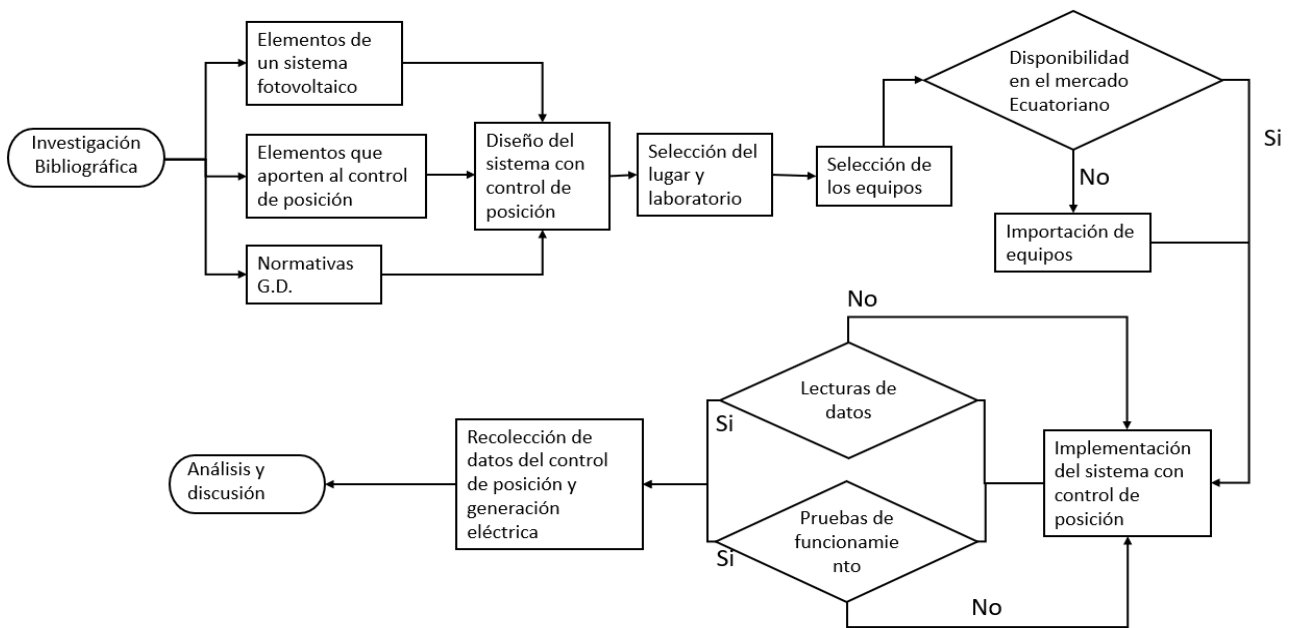


Fig. 15. Metodología aplicada para el presente trabajo de grado.

La etapa principal se basa en un enfoque cuantitativo ya que se realiza el análisis bibliométrico mediante la recopilación de información bibliográfica que cuente con información relacionada con el problema de investigación y los objetivos planteados para la implementación de un sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar. Se realizó el análisis técnico de sistemas de micro generación fotovoltaico fijos. El análisis técnico pasa sistemas fotovoltaicos móviles teniendo en cuenta características como un sistema embebido, actuadores (motor eléctrico), sensores de temperatura y análisis de parámetros eléctricos. Recopilación de información acerca de normativas de sistemas de generación distribuida para consumidores asociados.

En la segunda etapa, mediante un enfoque cualitativo se determinó procedimientos, algoritmos, materiales y programas computacionales que aporten diseño estructural, el sistema electromecánico y protecciones en cada parte del sistema. En el diseño estructural que garantice el correcto funcionamiento de la conversión de magnitudes físicas a señales digitales. Una unidad de proceso central que recopile dichas magnitudes físicas y determine procesos como la variación de la posición de los módulos fotovoltaicos y como último paso la conversión de la energía eléctrica de DC a energía eléctrica en AC que se conecte de forma síncrona con la red y suministre el circuito de iluminación de las aulas del edificio de la carrera de electricidad.

Mediante un enfoque cuantitativo se realizó la recopilación y análisis de irradiación en el lugar seleccionado en conjunto con el programa computacional NASA(POWER). El uso del programa computacional AutoCAD para el diseño de la estructura que soporta los módulos fotovoltaicos, el motor que funciona como actuador en el cambio de posición y sensores para la recolección de datos de las magnitudes físicas. Seleccionar el microcontrolador que sea compatible con todos los materiales y etapas del proceso como accionamiento de actuadores, la lectura de datos y almacenamiento. Se determinó las ecuaciones necesarias para la implementación del trabajo de grado como el dimensionamiento de conductores, protecciones, conexión de los módulos fotovoltaicos, fuerza en los engranajes del actuador, identificación de cargas por áreas.

En la tercera etapa se realizó la conexión de los equipos eléctricos conforme a los rangos de error y parámetros dispuestos en la etapa de diseño. Mediante un enfoque cuantitativo se realizó el análisis de datos obtenidos de irradiancia, pasos en el ángulo de inclinación del sistema electromecánico, porcentajes de energía eléctrica consumida de los circuitos de iluminación entre la red y el sistema de micro generación fotovoltaico, intensidades de corriente en AC y DC, además de un análisis de generación eléctrica con respecto a la modificación de un sistema fotovoltaico fijo a móvil.

### **3.6. Materiales**

El presente trabajo de grado se basó en el aumento en la capacidad de generación eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos con control de posición y el aprovechamiento del potencial solar elevado en la región andina en comparación con las otras regiones y la capacidad de conectarse de manera síncrona con la red eléctrica generando una reducción en el consumo de la energía eléctrica de dicha red.

#### **3.6.1. NASA (Predicción de los recursos energéticos mundiales)**

Es una plataforma de base de datos que a través de su proyector de predicción de recursos naturales energéticos mundiales (POWER), ofrece datos que describen las condiciones meteorológicas, radiación solar y su variación con el tiempo. La plataforma web permite obtener datos de irradiación diaria, ángulos de inclinación de los paneles en dirección norte-sur y sus promedios tanto mensuales como anuales aportando con:

- Dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas.
- Nivel de irradiación solar en una localidad.

### 3.6.2. AutoCAD

Es un programa computacional que se utilizó para diseños precisos en dos y tres dimensiones que aportó en diseño de la estructura que de soporte los módulos fotovoltaicos, identificación de cargas por área de uso y el sistema electromecánico para realizar el control de posición solar en el transcurso del día aportando con:

- Diseño de circuitos eléctricos.
- Planificación de instalaciones eléctricas.
- Sistemas de iluminación.

### 3.6.3. Paneles fotovoltaicos

La etapa de conversión de energía solar a energía eléctrica contó con tres paneles fotovoltaicos de 250 W cada uno, fabricados por la empresa Yiling Solar, que corresponden al modelo YL250P-29b y presentan características específicas. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA I.

**TABLA I**  
**Especificaciones Técnicas del Módulo**  
**Fotovoltaico**

|   |        |
|---|--------|
| <b>Potencia máxima (Pmax)</b>             | 250 W  |
| <b>Voltaje a máxima potencia (Vmpp)</b>   | 30.4 V |
| <b>Corriente a máxima potencia (Impp)</b> | 8.24 A |
| <b>Voltaje de circuito abierto (Voc)</b>  | 38.4 V |
| <b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>   | 8.79 A |
| <b>Eficiencia del panel</b>               | 15 %   |
| <b>Tolerancia de potencia (positiva)</b>  | 5 W    |
| <b>Voltaje máximo del Sistema</b>         | 1000 V |
| <b>Valor de fusibles en serie</b>         | 15 A   |

### 3.6.4. Sensores de voltaje y corriente

En la etapa de recolección de datos de voltaje y corriente en AC, se empleó el módulo Pzem-004T, ya que cuenta con la capacidad de lectura de voltajes en un rango de 0 a 260V y corrientes en un intervalo de 0A a 10A, además de potencia, factor de potencia y frecuencia. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLAII.

**TABLA II**  
**Especificaciones Técnicas del Módulo**  
**Pzem-004t**

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>Voltaje</b>     | 80~260V        |
| <b>Corriente</b>   | 0~100A         |
| <b>Potencia</b>    | 0~23kW         |
| <b>Frecuencia</b>  | 45Hz~65Hz      |
| <b>Temperatura</b> | -20'C ~ +60'C. |

En la etapa de recolección de datos de voltaje y corriente en DC, se empleó el módulo Pzem-017, ya que cuenta con la capacidad de lectura de voltajes en un rango de 0 a 300 V y corrientes en un intervalo de 0 a 10 A, además de potencia, factor de potencia y frecuencia. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA III.

**TABLA III**  
**Especificaciones Técnicas del Módulo**  
**Pzem-017**

|                  |           |
|------------------|-----------|
| <b>Voltaje</b>   | 0~300V    |
| <b>Corriente</b> | 0~300A    |
| <b>Potencia</b>  | 0~90kW    |
| <b>Energía</b>   | 0~9999kWh |

### 3.6.5. Sensor de ángulo de inclinación

Para determinar el ángulo de inclinación fue fundamental el módulo MPU6050 ya que incorpora un acelerómetro y un giroscopio cada uno de 3 ejes. Dicho modulo aporta con la lectura y almacenamiento de los distintos ángulos generados en el transcurso del día y determinar el ángulo óptimo de inclinación durante las horas de pico solar. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA IV.

**TABLA IV**  
**Especificaciones Técnicas del Módulo**  
**MPU6050**

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>VDD</b>         | 2.375V -3.46V  |
| <b>I 2C</b>        | ADO            |
| <b>I 2C</b>        | SCL            |
| <b>I 2C</b>        | SDA            |
| <b>Temperatura</b> | -40°C a +105°C |

### 3.6.6. Sensor de temperatura

La temperatura en un sistema de micro generación fotovoltaico es de suma importancia es decir describir el comportamiento de dicho sistema de generación eléctrica con los datos de temperatura almacenados. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA V.

**TABLA V**  
**Especificaciones Técnicas del Módulo**  
**DS18B20**

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| <b>VCC</b>         | 3V o 5.5V   |
| <b>Temperatura</b> | -55 a 125°C |
| <b>Resolución</b>  | 9 a 12 bits |

### 3.6.7. Motor

Es de suma importancia contar con un sistema electromecánico que suministre la potencia necesaria para el giro de un eje de rodamientos el cual soporta los tres módulos fotovoltaicos. Para evitar vibraciones por corrientes de viento entre otros el sistema electromecánico debe contar con un freno magnético y que garantice una operación estable. Con las condiciones antes mencionadas se optó por un motor de tecla eléctrico. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA VI.

**TABLA VI**  
**Especificaciones Técnicas del**  
**Motor**

|                  |            |
|------------------|------------|
| <b>Modelo</b>    | PA-300     |
| <b>voltaje</b>   | 110V       |
| <b>Capacidad</b> | 300Kg.     |
| <b>Freno</b>     | automático |
| <b>R.P.M.</b>    | 72         |
| <b>Corriente</b> | 5A         |

### 3.6.8. Elevador MPPT

En un sistema solar fotovoltaico de acuerdo con las condiciones de luz el voltaje es variado en los paneles fotovoltaicos el MPPT ajusta la tensión de la salida continuamente en su punto máximo de potencia maximizando la eficiencia en la

conversión de energía solar a eléctrica. En la actualidad existen inversores que tienen incorporado dicho seguimiento del punto máximo de potencia para sistemas fotovoltaicos.

### 3.6.9. Inversor

De acuerdo con los parámetros de diseño del sistema fotovoltaico con control de posición solar la etapa de inversión DC/AC debe contar con características como topología de salida monofásica, conexión con la red eléctrica, funcionamiento aislado, la capacidad de realizar la transferencia automática de ser necesario. Los detalles técnicos se encuentran en la TABLA VII.

**TABLA VII**  
**Especificaciones Técnicas del Inversor**  
**PW 3KVA**

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| <b>Potencia</b>                | 2000W    |
| <b>Voltaje nominal</b>         | 85VDC    |
| <b>Corriente</b>               | 0-40A    |
| <b>Rango del MPPT</b>          | 35-90VDC |
| <b>Eficiencia máxima DC/AC</b> | 95%      |

### 3.6.10. Microcontrolador

Para la etapa de adquisición de datos la recolección, procesamiento y almacenamiento de dichos parámetros eléctricos, el dispositivo manejó los siguientes tipos de comunicación Serial (UART), I2C y SPI entre los más importantes. Además de la activación de pines como entradas o salidas para sensores y actuadores.

### 3.6.11. Arduino IDE

La forma en la cual el usuario interactúa con la plataforma de desarrollo mediante un lenguaje de programación como funciones, métodos, estructuras de control manejo de entradas y salidas. El correcto uso de este lenguaje permitió la obtención de datos provenientes de sensores, así como la activación de actuadores para el control de dispositivos externos.



### 3.7. Dimensionamiento del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar integrado a la red eléctrica

El análisis efectuado por [61], acerca de micro generación fotovoltaica e irradiación solar en la azotea de las instalaciones ubicado a 0.35 latitud norte y -78.11 longitud oeste mediante el uso de dos sensores RK200-03 y S-LIB-M003 reveló promedios mensuales de radiación sola en un intervalo de 4.15 a 4.69 W/m<sup>2</sup>, sus conclusiones indican que, al encontrarse en proximidad a la zona ecuatorial, el estudio no evidencia variaciones sustanciales en el cambio de la irradiación con respecto a las estaciones del año en la ciudad de Ibarra. Con respecto a la orientación de los módulos fotovoltaicos [61], sostiene que se obtiene el máximo rendimiento en la captación de radiación solar ya que el sol alcanza su punto más alto al medio día y por ende las horas de pico solar.

Mediante el uso la plataforma web NASA(POWER) se obtuvo datos de irradiación solar diaria, el promedio mensual, la orientación y la variación del ángulo de inclinación por mes. Se puede notar como los valores irradiación son muy similares en el transcurso del año a diferencia de los ángulos de inclinación y la orientación norte-sur. De acuerdo con los datos de la (Fig. 16), los grados de inclinación varían entre 20° y -20°, los cuales corresponden a los ángulos que aumentan la captación de radiación solar. Además, al mediodía se alcanza el pico de radiación solar, por lo que el ángulo debe ajustarse a 0° para obtener el máximo aprovechamiento.

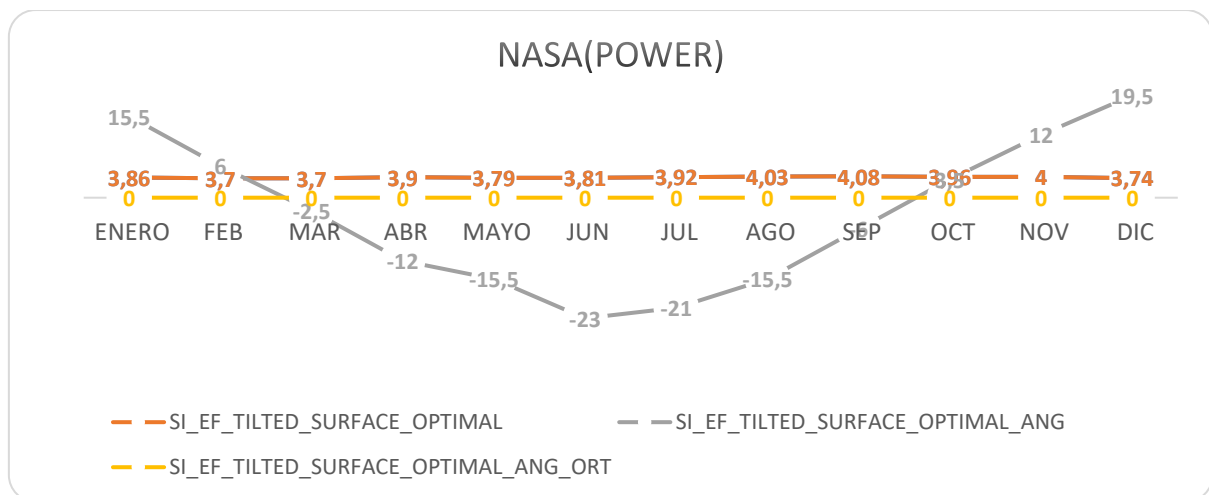


Fig. 16. Relación entre el nivel de irradiación y el Ángulo de inclinación.

NASA(POWER)

### 3.7.1. Conexión de los módulos fotovoltaicos

La instalación con control de posición solar cuenta con una capacidad de 750 W ya que consta de 3 módulos fotovoltaicos, cada uno con una potencia de 250 W. Es importante destacar que el sistema de generación fotovoltaica está diseñado para aumentar la capacidad de conversión de energía solar a energía eléctrica y además de satisfacer una demanda específica del edificio.

Conexión en serie:

Ecuación (2):

$$V_{TOTAL} = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (2)$$

$$I_{TOTAL} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Conexión en paralelo:

Ecuación (3):

$$V_{TOTAL} = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3)$$

$$I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Para el presente trabajo se optó por la conexión en serie de los tres paneles fotovoltaicos ya que cada uno cuenta con un voltaje máximo de 30.4 V y una corriente máxima de 8.24 A. Para la conexión de módulos fotovoltaicos en serie se aplica la Ecuación (2).

$$V_{TOTAL} = 91.2 \text{ V}$$

$$I_{TOTAL} = 8.24 \text{ A}$$

Cabe recalcar que en el edificio de la carrera cuenta con 3 módulos conectados en serie de las mismas características que el sistema con control de posición solar con la diferencia que es un sistema fijo, los dos sistemas se conectaron en paralelo. Para la conexión de módulos fotovoltaicos en paralelo se aplica la Ecuación (3).

$$V_{TOTAL1} = 91.2 \text{ V}$$

$$I_{TOTAL1} = 16.48 \text{ A}$$

### 3.7.2. Aspectos del sistema de control de posición solar

Los aspectos tomados en cuenta son: la selección del lugar y materiales, posteriormente las condiciones de funcionamiento del sistema electromecánico que tomará son: 20° de inclinación por la mañana y en la tarde -20° determinados por el sensor MPU6050 además de contar con finales de carrera para evitar posibles fallos en el actuador. Los datos de los sensores se pueden evidenciar en tiempo real mediante una pantalla y luego enviados al servidor web Adafruit IO en intervalos de 5 minutos para su almacenamiento con el fin de un posterior análisis, cabe recalcar que el enlace a los datos está ubicado en anexos. Esto facilita el monitoreo remoto del sistema y permite realizar un análisis detallado de su rendimiento a lo largo del tiempo. Los datos almacenados son el ángulo de inclinación, temperatura, voltajes y corrientes en (AC, DC) Fig. 17.

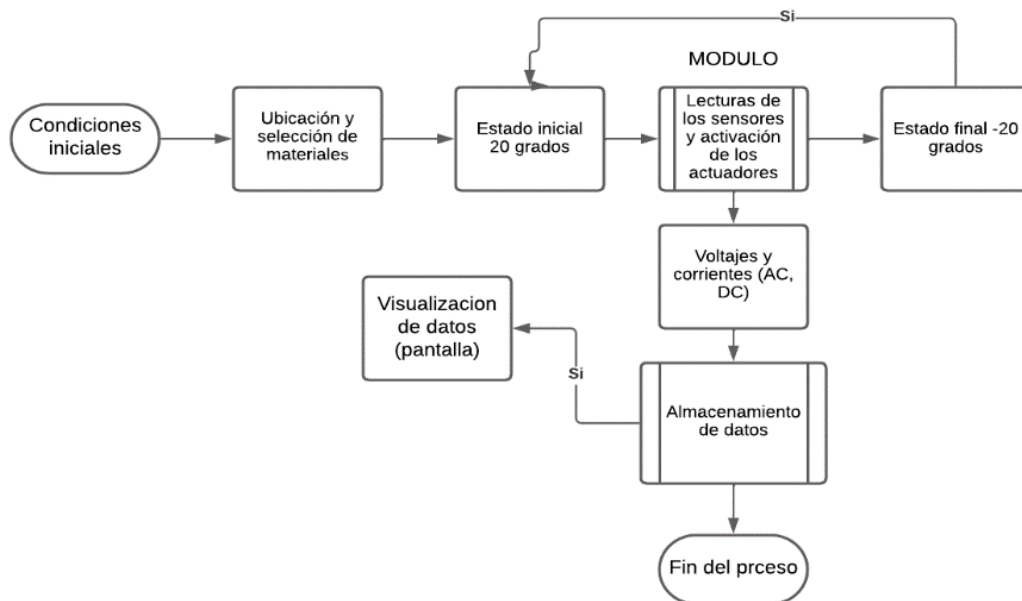


Fig. 17. Diagrama del sistema de generación eléctrica.

Autor

### 3.7.3. Reducción de la velocidad de giro del sistema de micro generación

El motor eléctrico seleccionado para variar el ángulo de inclinación tiene una velocidad de 72 rpm que no es considerada aceptable por problemas de vibraciones en la

estructura y la fuerza de impacto en los finales de carrera ubicados en los extremos en consecuencia es necesario reducir sus rpm mediante una transmisión y un sistema reductor o caja de reducción que mediante la Ecuación (4) se obtiene la velocidad circular tres N3.

Relación de transmisión:

Ecuación (4):

$$i = \frac{D_1}{D_2} \quad i = \frac{N_2}{N_1} \quad (4)$$

Ecuación (5):

$$D_1 * N_1 = D_2 * N_2 \quad (5)$$

Donde:

N=Velocidad circular (rpm)

R=Radio (puede ser el diámetro)

$$D_1 * N_1 = D_2 * N_2$$

Mediante la transmisión se busca realizar una reducción de los 72r.p.m. mencionados.

Datos de entrada:

D1=6.85 cm

N1=72 rpm

Datos de salida:

D2=17.78 cm

$$N_2 = 27.78 \text{ rpm}$$

Sistema reductor (caja reductora) de 40 a 1 es decir que por cada cuarenta giros en el eje de entrada conectado al eje del actuador electromecánico el eje de salida conectados el eje que da soporte a los tres módulos fotovoltaicos daría uno donde es la relación de reducción:

Datos de entrada:

N2=27.78 r.p.m.

D2=1

Datos de salida:

D3=40

$$N_3 = 0.69 \text{ rpm}$$

### 3.7.4. Selección del inversor con conexión a la red eléctrica

La selección del inversor depende de algunos aspectos como lo es la potencia instalada del sistema fotovoltaico, el arreglo de los módulos fotovoltaicos, la corriente y voltaje suministrado que deben estar dentro del rango de funcionamiento del inversor, además ser aplicados en la Ecuación (6).

Potencia del arreglo fotovoltaico:

Ecuación (6):

$$P = V * I \quad (6)$$

Donde:

V= voltaje

I= corriente

$$P = 1502.98 \text{ W}$$

Potencia del inversor:

Ecuación (7):

$$P_i = P_s + 0.2 * P_s \quad (7)$$

Donde:

$P_i$  = Potencia del inversor

$P_s$  = Potencia del sistema fotovoltaico

$$P_i = 1803.58 \text{ W}$$

El inversor seleccionado de acuerdo con la Ecuación (7) debe ser igual o superior, en decir el valor más próximo a 1803.58 W.

### 3.7.5. Estructura de soporte para el sistema fotovoltaico con control de posición solar

Los módulos fotovoltaicos cuentan con un movimiento vertical iniciando en 20° en la mañana y finalizando en -20° en la tarde con respecto a los datos obtenidos de la plataforma NASA POWER, por ende, la estructura de acero galvanizado (Fig. 19) se

diseño para facilitar el movimiento, mediante un eje con rodamientos en sus extremos. Cabe mencionar que todos diseños realizados en AutoCAD se encontraran en la parte de anexos.

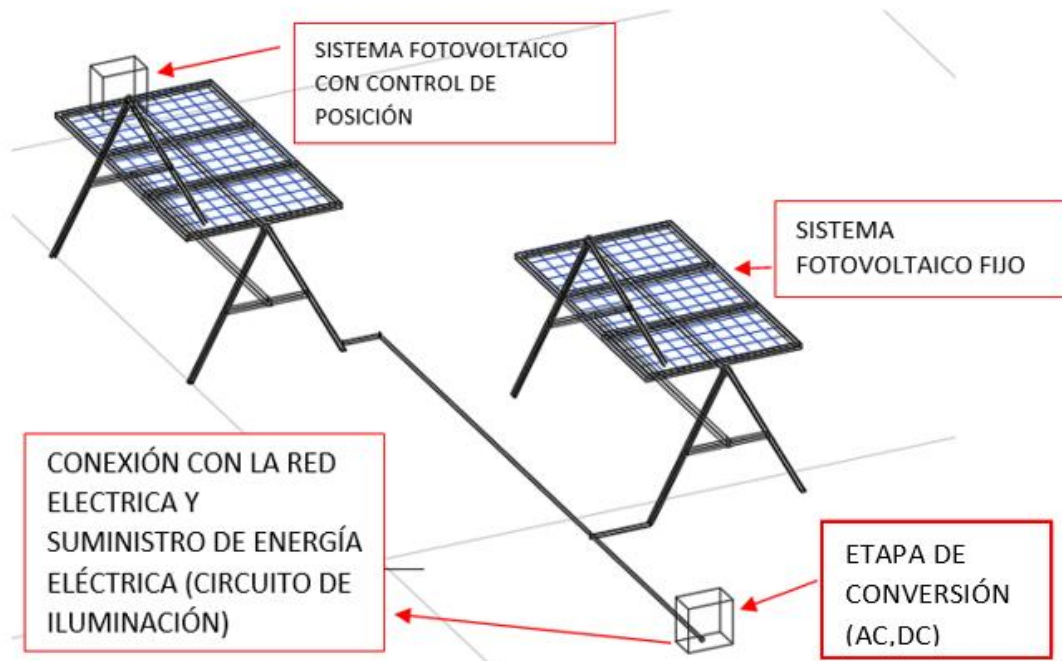


Fig. 18. Estructura de soporte.

Autor

En este capítulo se proporcionó información sobre el método experimental utilizado para llevar a cabo el presente trabajo de grado, el cual se centra en una propuesta tecnológica. Se aplicaron dos metodologías, siendo la principal la metodología cuantitativa, en diferentes etapas, como el diseño de la estructura de soporte, la velocidad del sistema electromecánico, la recopilación de datos de NASA (POWER), el dimensionamiento del inversor monofásico y la disposición de los módulos fotovoltaicos. También se realizó la selección del lugar y la orientación de los módulos fotovoltaicos. Además de una descripción técnica detallada de cada uno de los elementos que conforman el sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar, teniendo en cuenta la programación mediante un diagrama de funcionamiento. Además, se detallaron las actividades planificadas para cumplir con los objetivos, el problema de investigación y el alcance establecidos en el presente trabajo de grado.

## **CAPITULO IV**

### **4. Implementación de un sistema de control de posición que incrementa la captación de los rayos del sol en el panel fotovoltaico**

En este capítulo se proporciona información sobre los equipos utilizados en sistemas de micro generación fotovoltaica fijos, además de la incorporación de sensores, actuadores y equipos de adquisición de datos. Estos elementos son esenciales para implementar un sistema de micro generación con control de la posición solar. La adquisición de datos abarca lecturas de voltaje y corriente tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC), permitiendo monitorear el flujo de energía en diferentes etapas del sistema. También se recopilan datos específicos del sistema con control de posición solar, como la temperatura, la irradiación solar y la inclinación de los paneles. Estos datos son cruciales para analizar el aumento en la generación de energía eléctrica al ajustar la orientación de los paneles solares para maximizar la captación de energía. Se realizará un análisis comparativo de la generación eléctrica entre un sistema fijo y uno con control de posición solar, examinando su aplicación en la alimentación de una microrred. Ambos sistemas se conectarán de forma híbrida a la red eléctrica y de forma autónoma, alimentando un circuito de iluminación y un circuito de tomacorriente.

#### **4.1. Sistema de micro generación fotovoltaico fijo**

El dimensionamiento de un sistema de micro generación fotovoltaico enfocado en la conexión con la red eléctrica fijo para el presente trabajo de integración curricular depende de aspectos como el arreglo fotovoltaico en serie, el ángulo de inclinación y la orientación de los módulos fotovoltaicos.

##### **4.1.1. Parámetros de orientación e inclinación**

Cuando el sol alcanza su punto más alto al medio día los módulos fotovoltaicos reciben mayor cantidad de energía solar de tal manera los módulos fotovoltaicos deben ubicarse con un azimut de  $180^\circ$  con respecto norte dicho de otra forma las celdas deben apuntar hacia el sur. En cuanto al ángulo de inclinación en base a análisis estadísticos con

respecto a diferentes inclinaciones en lugares diferentes [60] afirma que la Ecuación (8) es válida para aplicaciones de uso anual.

Ecuación (8):

$$\beta_{opt} = \phi \pm 10 \quad (8)$$

Donde:

$\beta_{opt}$  = El angulo de inclinacion para los modulos fotovoltaicos

$\phi$  = Ela latitud del lugar

$\pm 10$  = (+) Invierno (-) Verano

$$\beta_{opt} = 10.35^\circ$$



Fig. 19. Sistema fotovoltaico fijo.

## 4.2. Sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar

El dimensionamiento de un sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar enfocado en la conexión con la red eléctrica para el presente trabajo de integración curricular depende de aspectos como el arreglo fotovoltaico en serie, el ángulo de inclinación dictaminado por el sistema electromecánicos y la orientación de los módulos fotovoltaicos cambia con respecto a un sistema fotovoltaico fijo.



### 4.2.1. Parámetros de orientación e inclinación

Con respecto al sistema fotovoltaico fijo el sistema con control de posición solar tiene una orientación este-oeste ya que varía su ángulo de inclinación en el transcurso del día es decir en la mañana de  $20^\circ$  a  $0^\circ$  y en la tarde de  $0^\circ$  a  $-20^\circ$  observado en Fig. 20.

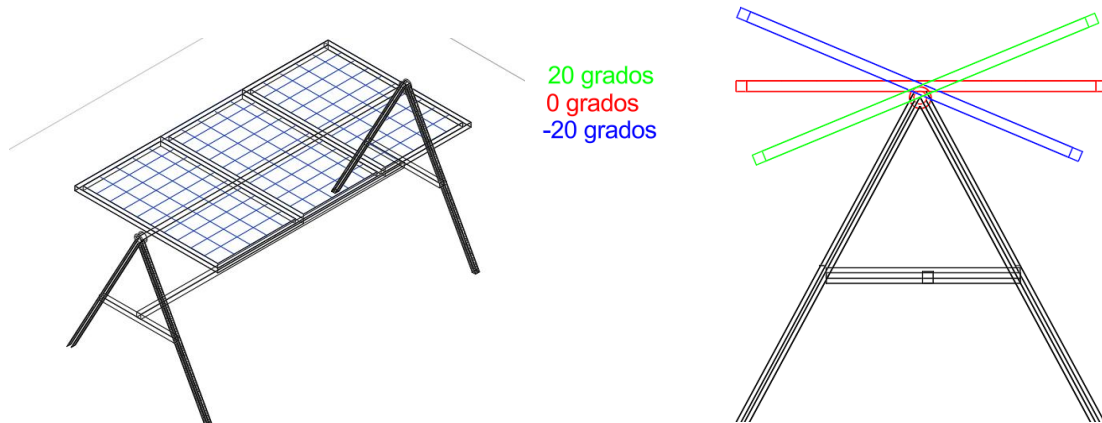


Fig. 20. Pasos diarios del control de posición solar.

### 4.2.2. Conexiones del sistema fotovoltaico con control de posición solar

En la etapa de implementación se muestra lo elementos de que conforman el sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar, características físicas, estructuras de soporte y conexiones de los diversos equipos como módulos fotovoltaicos fijos, móviles, actuadores, sensores entre otros.

#### 4.2.2.1. Etapa de implementación

Se inspeccionó tanto características físicas de los equipos como el proceso de construcción de la estructura de soporte y el correcto montaje de cada uno de los equipos que conforman el sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar en el área seleccionada en la Fig. 21.

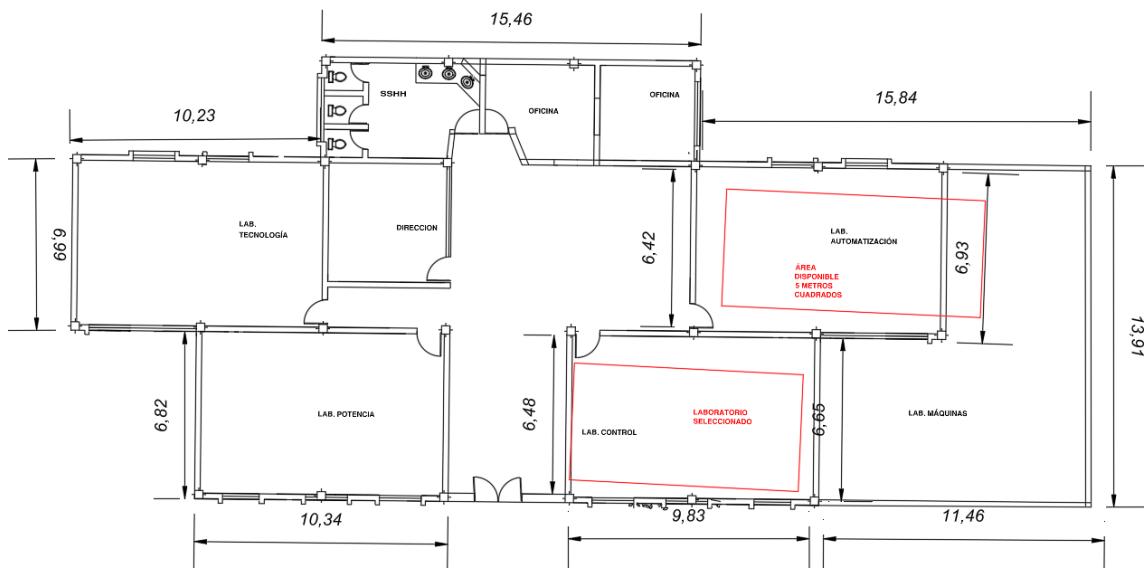


Fig. 21. Área de implementación.

#### 4.2.2.2. Estructura de soporte

Se inspeccionó la construcción de la estructura de soporte que cumpla con los aspectos descritos en la etapa de diseño en la (Fig. 22) mediante un eje con rodamientos en sus extremos que facilite variar el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos y acople los sensores y actuadores a la misma estructura.



Fig. 22. Sistema fotovoltaico con control de posición.

Las estructuras de soporte, tanto para el sistema fijo como para el sistema de control de posición solar, están diseñadas con un eje equipado con rodamientos, lo que asegura

un movimiento suave y eficiente. Ambas estructuras mantienen la misma altura, garantizando una alineación y estabilidad consistente como se muestra en la Fig. 23.

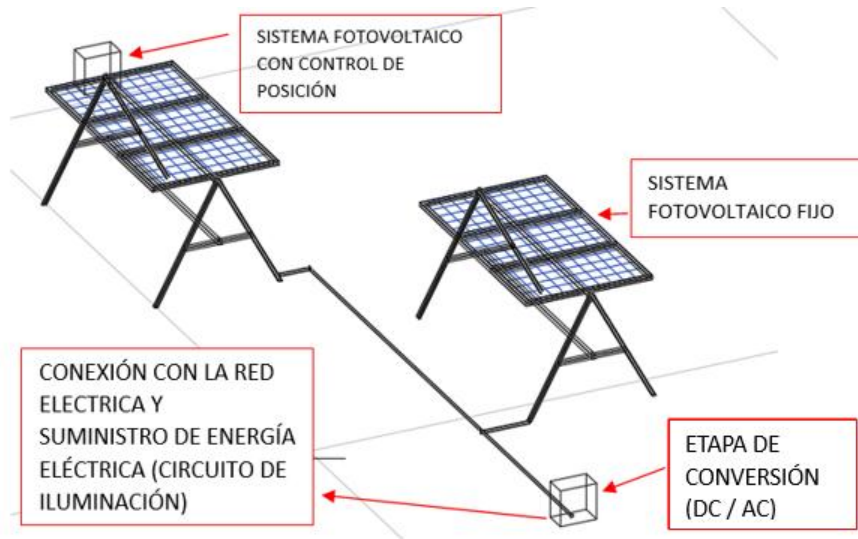


Fig. 23. Diagrama de los dos sistemas.

#### 4.2.2.3. Arreglo de los módulos fotovoltaicos

En la etapa de micro generación fotovoltaica cuenta con tres módulos cada uno con una potencia de 250 W es decir una potencia total de 750 W un voltaje de salida de 91.2 V y una corriente de 16.48 A conectados en serie mediante conectores MC4 como se muestra en la Fig. 24.



Fig. 24. Conexión serie del sistema fijo.

En ambos sistemas, tanto el fijo como el de control de posición solar, se utilizó configuraciones idénticas. Cada sistema constó de tres módulos solares conectados en

serie, y luego, dos de estos arreglos en serie se conectaron en paralelo como se observa en la Fig. 24.

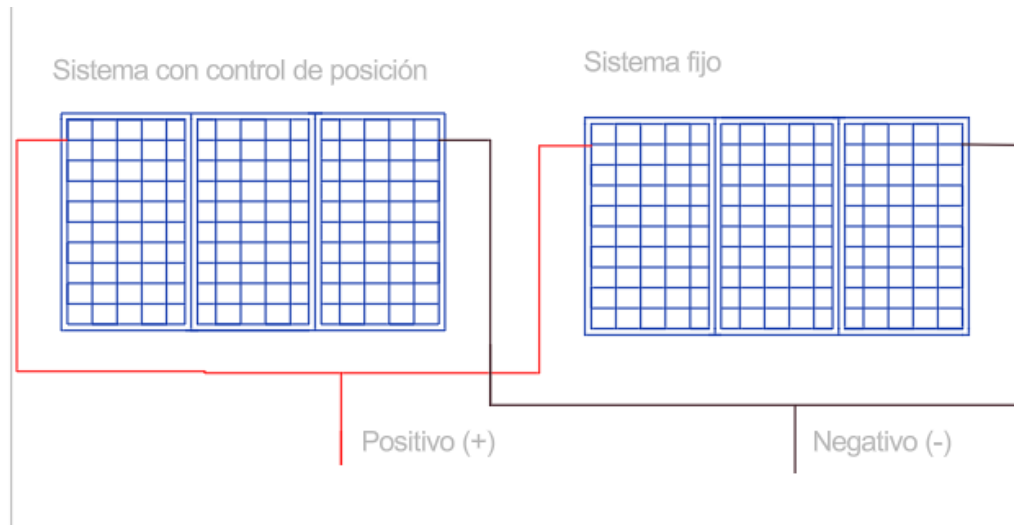


Fig. 25. Conexión de los dos sistemas.

#### 4.2.2.4. Actuador electromecánico

En la etapa de control el actuador electromecánico (Fig. 26) cuenta con una capacidad de levantamiento de 300 kg y una velocidad de 72 rpm y mediante un sistema de transmisión de cadena y una caja de reducción de velocidad 40 a 1 mediante engranajes la velocidad de salida es de 0.7 rpm necesarias para variar el ángulo de inclinación de los 3 módulos fotovoltaicos. El eje de salida de la caja de reducción se conecta en el eje con rodamientos de la estructura de soporte.

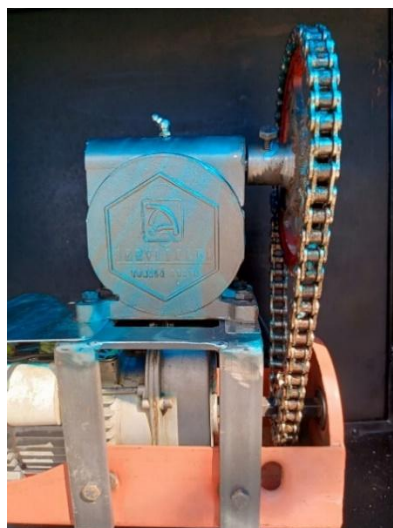


Fig. 26. Actuador con reducción de 40:1.

El actuador electromecánico utilizado en este proyecto está equipado con un freno magnético y una caja reductora, componentes fundamentales para el control preciso de la posición solar requerido para su trabajo de grado. El diseño del sistema se enfoca en permitir que los módulos fotovoltaicos realicen un seguimiento solar efectivo a lo largo del día, girando de manera horaria en la mañana y tarde (con una posición inicial de 20 °, luego a 0 °, luego a -20 °) y antihoraria en la tarde (desde -20 ° hasta la posición inicial de 20 °).

Para lograr este movimiento, se implementó un microcontrolador que coordina la activación del actuador mediante el control de la polaridad del capacitor integrado. Para el giro horario, se utilizan cuatro módulos de relé que gestionan la dirección y el movimiento de los módulos fotovoltaicos. Al alcanzar los extremos de movimiento, un final de carrera asegura que se hayan posicionado correctamente. De manera similar, para el retorno a la posición inicial, se emplean otros cuatro módulos de relé y un final de carrera que confirma la correcta alineación inicial de los módulos. Estos pasos serán controlados mediante un reloj RTC y un módulo MPU6050 que determinarán la posición de los módulos fotovoltaicos en determinadas horas del día.

Cabe mencionar que ante un posible movimiento por factores externos la reducción de 40:1 frena dicho movimiento además de activarse el sistema de control de posición y reajustar la posición al estado acorde con el horario determinado.

Este enfoque permite un control preciso y automatizado del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar, aumentando la capacidad de generación eléctrica de los módulos fotovoltaicos a lo largo del día.

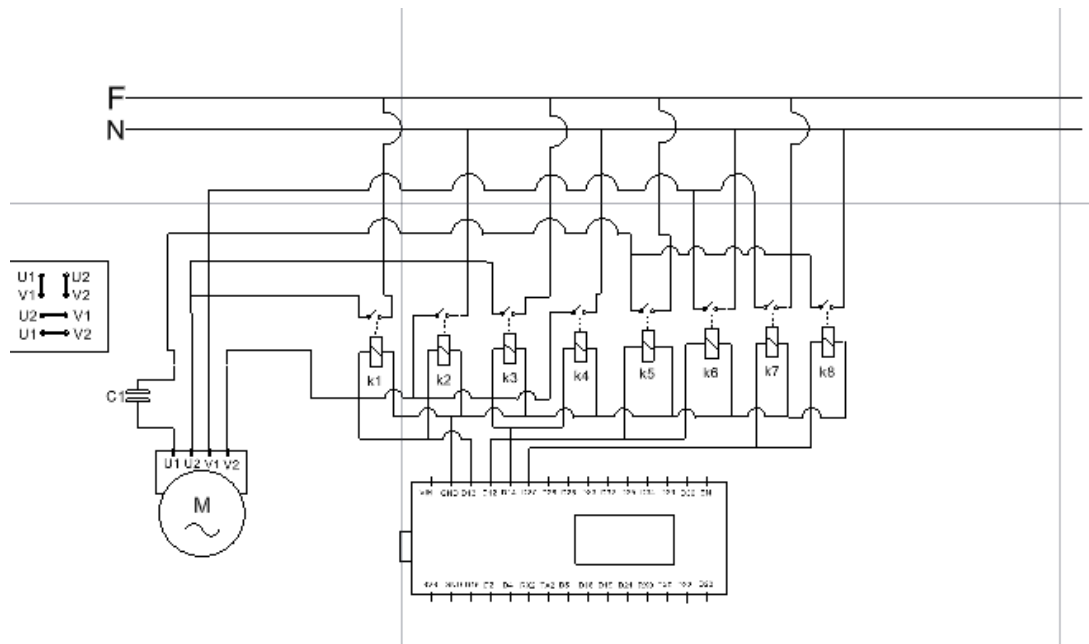


Fig. 27. Diagrama de activación del actuador.

Para realizar el giro en sentido horario del actuador electromecánico, se utilizaron los relés K1 y K2 para energizar el actuador, mientras que los relés K3 y K4 controlan el sentido de giro. Para el giro en sentido antihorario, se emplearon los relés K5 y K6 para energizar el actuador, y los relés K7 y K8 se encargan de invertir el sentido de giro. El actuador electromecánico es energizado a través de los pines 13 y 27. El sentido de giro se controla mediante los pines 12 y 14 como se muestra en la Fig. 27. Además, se han incorporado 2 finales de carrera para prevenir activaciones innecesarias del actuador y proteger el sistema contra movimientos no deseados.

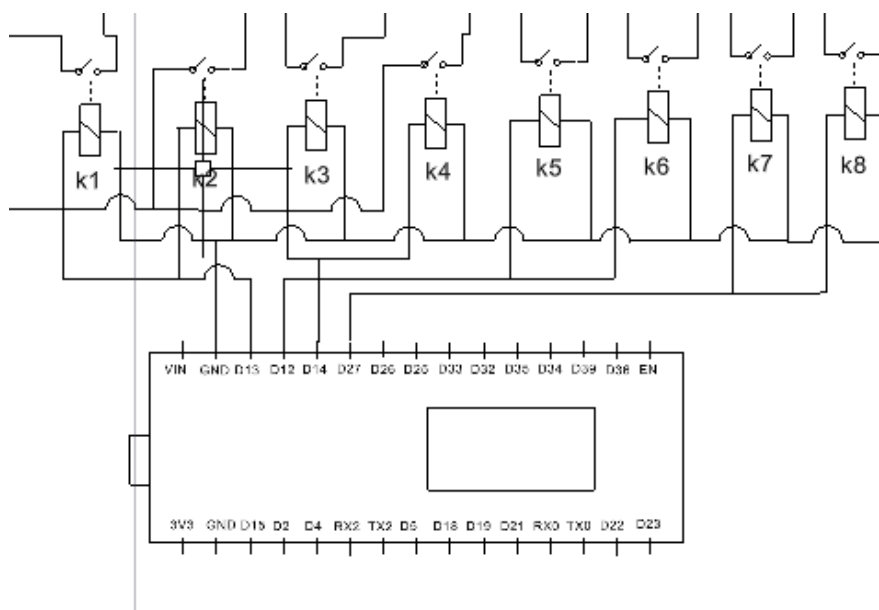


Fig. 28. Pines de activación.

En la Fig. 29 se presentan los elementos seleccionados, elegidos por sus características físicas y datos de operación, que son compatibles con los parámetros eléctricos y electrónicos del sistema de control de posición solar fotovoltaico.

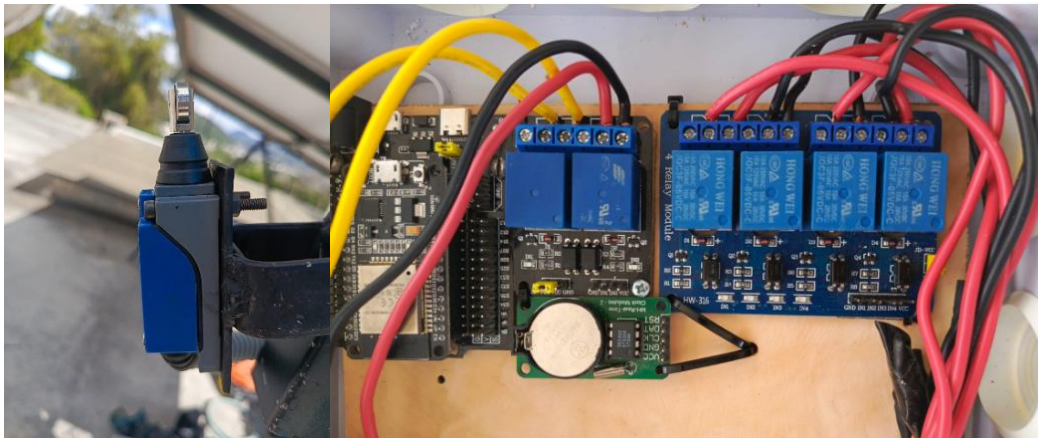


Fig. 29. Control del actuador.

#### 4.2.2.4. Selección del conductor en DC

En esta etapa de selección del conductor en DC es cable fotovoltaico ya que es un componente indispensable en la conexión de los equipos del como: módulos fotovoltaicos y el inversor. El conductor puede ser de aluminio o cobre, el cableado se encuentra en la azotea de los laboratorios de la carrera de electricidad por ende su aislamiento está hecho con materiales resistentes a la radiación y efectos del clima. La corriente y voltaje máximos son de 91.2 V, 16.48 A en la selección del calibre del conductor se aplicó un factor de seguridad.



Fig. 30. Conductor DC.

$$I_{CONDUCTOR} = I_{TOTAL} * 1.2$$

$$I_{CONDUCTOR} = 19.78A$$

El conductor seleccionado es de calibre 12, con resistencia eléctrica de 5.3149  $\Omega$ /km y un peso de 65 kg/km obtenido de la Fig. 31.

| <b>CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO PV XLPE 2000 V 90°C SR</b> |   |                        |                            |                              |                                |  |
|---|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| <b>Conductor</b>  |   | <b>Aislamiento</b>     |                            | <b>Peso Total Aproximado</b> | <b>Ampacidad<sup>(1)</sup></b> |  |
| <b>Calibre</b>  | <b>Resistencia Eléctrica DC a 20 °C</b> | <b>Espesor Nominal</b> | <b>Diámetro Aproximado</b> |                              | <b>Un Cable al Aire</b>        | <b>Hasta Tres Conductores en Ducto</b> |
| <b>AWG</b>  | <b><math>\Omega</math>/km</b>           | <b>mm</b>              | <b>mm</b>                  | <b>kg/km</b>                 | <b>A</b>                       |  |
| 14  | 8,4443                                  | 1,90                   | 5,92                       | 50                           | 30                             | 23                                     |
| 12  | 5,3149                                  | 1,90                   | 6,42                       | 65                           | 41                             | 30                                     |
| 10  | 3,3436                                  | 1,90                   | 7,06                       | 88                           | 56                             | 41                                     |
| 8   | 2,1021                                  | 2,16                   | 8,36                       | 126                          | 78                             | 55                                     |
| 6   | 1,3226                                  | 2,16                   | 9,42                       | 182                          | 106                            | 73                                     |
| 4   | 0,8478                                  | 2,16                   | 10,44                      | 263                          | 141                            | 96                                     |
| 2   | 0,5332                                  | 2,16                   | 11,98                      | 389                          | 190                            | 129                                    |
| 1/0   | 0,3351                                  | 2,67                   | 14,94                      | 604                          | 259                            | 172                                    |
| 2/0   | 0,2659                                  | 2,67                   | 16,08                      | 739                          | 300                            | 194                                    |
| 4/0   | 0,1688                                  | 2,67                   | 19,52                      | 1140                         | 405                            | 260                                    |
| 250   | 0,1429                                  | 3,05                   | 21,56                      | 1365                         | 455                            | 290                                    |
| 500   | 0,0728                                  | 3,05                   | 30,69                      | 2650                         | 703                            | 430                                    |

Fig. 31. Especificaciones del conductor DC.

#### 4.2.2.6. Inversor monofásico

El inversor se encarga de la conversión de DC/AC y cuenta con características importantes, como diversos modos de operación en los que se determina la prioridad entre la red eléctrica y el abastecimiento autónomo. Además, incluye un controlador MPPT con un rango de 30 a 85 V y un máximo de A. Por ende, el inversor se ubicó en el laboratorio de control, y se realizó el cableado necesario entre el sistema de generación fotovoltaico y el inversor como muestra la Fig. 32. Se determinó la ubicación óptima para los diversos equipos, ya que el inversor se conecta a la entrada en AC de la red eléctrica, la entrada en DC de los módulos fotovoltaicos, la entrada de las baterías y la salida que se modificará según la prioridad determinada por el inversor.



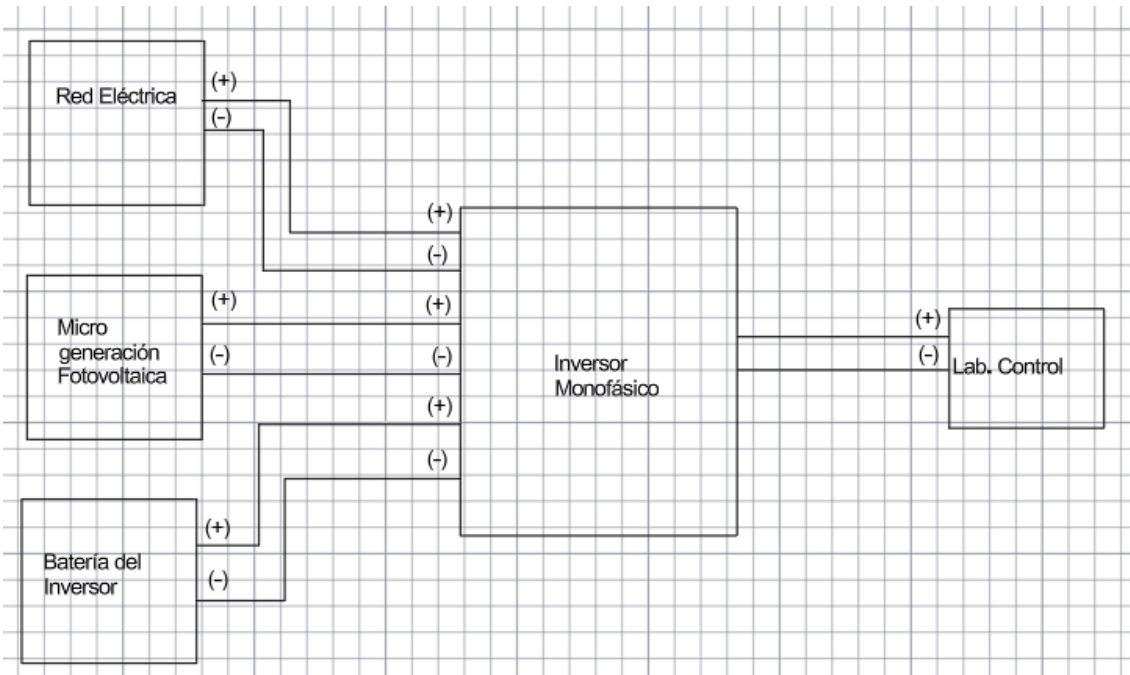


Fig. 32. Diagrama de Bloques de alimentación del Laboratorio de Control.

Para la instalación de los paneles solares en el techo del laboratorio, se realizó una perforación controlada en las paredes del edificio para pasar los cables de conexión desde los paneles hasta el interior. Este cableado se protegió utilizando una manguera caracol metálica, que proporciona una capa adicional de seguridad y resistencia contra daños mecánicos y ambientales.

Perforación y Enrutamiento de Cables: Se realizaron perforaciones precisas en las paredes del laboratorio para permitir el paso de los cables eléctricos desde los paneles solares hasta el interior del edificio. Estas perforaciones fueron selladas para evitar problemas de aislamiento y humedad.

Protección del Cableado: Los cables que atraviesan las paredes fueron encauzados a través de una manguera caracol metálica. Esta manguera protege los cables de posibles daños físicos y proporciona una barrera contra la exposición ambiental, asegurando la integridad del sistema eléctrico (Fig. 33).



Fig. 33. Perforación y enrutamiento del cableado DC.

**Uso de Canaleta para Distribución Interna:** Dentro del laboratorio, los cables protegidos por la manguera caracol metálica fueron organizados y asegurados en una canaleta. La canaleta proporciona una ruta ordenada y segura para el cableado, protegiéndolo de daños y facilitando su mantenimiento y futuras modificaciones.

**Conexión al Inversor Monofásico:** Los cables dentro de la canaleta se dirigieron hacia el inversor monofásico. El inversor, instalado en un lugar accesible y ventilado dentro del laboratorio, convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC). Se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento correcto del sistema y asegurar una conversión eficiente de energía.



Fig. 34. Ubicación del inversor monofásico.

#### 4.2.2.7. Selección del conductor en AC

Los conductores que alimentan un sub-tablero de distribución deben ser de mayor calibre que los de los circuitos de iluminación y tomacorrientes. Mientras que los circuitos de iluminación están diseñados para una corriente de 15 A y los de tomacorrientes para 20 A, los conductores de cobre de calibre 10 AWG, con una capacidad de 40 A, son ideales para el sub-tablero de distribución, conforme a la normativa eléctrica de construcción en instalaciones eléctricas (NEC).

#### 4.2.2.8. Identificación de cargas por área de uso

En el presente trabajo de grado sobre micro generación fotovoltaica, se llevó a cabo la selección del LAB. CONTROL como el área a ser suministrada con energía eléctrica teniendo en cuenta aspectos como: no interfiera con otros proyectos de grado, acceso al sub-tablero y no afecte a la infraestructura. Inicialmente, se identificaron circuitos mixtos que incluían tanto tomacorrientes como lámparas. Por lo tanto, se realizó un reajuste y una separación de los tomacorrientes e iluminación para optimizar la distribución y el manejo de la carga eléctrica.

De acuerdo con la normativa ecuatoriana de construcción en instalaciones eléctricas se tomó en cuenta los circuitos por área. Tomando en cuenta la potencia tanto de iluminación como los equipos conectados a tomacorrientes.

**Tabla IV De Acuerdo Con El Tipo De Vivienda**

| TIPO DE VIVIENDA | ÁREA DE CONSTRUCCIÓN (m <sup>2</sup> ) | Número Mínimo de Circuitos                                     |  |
|------------------|--|--|--|
|                  |  | Iluminación  | Tomacorrientes   |
| Pequeña          | A < 80                                 | 1  | 1  |
| Mediana          | 80 < A < 200                           | 2  | 2  |
| Mediana grande   | 201 < A < 300                          | 3  | 3  |
| Grande           | 301 < A < 400                          | 4  | 4  |
| Especial         | A > 400                                | 1 por cada 100 m <sup>2</sup> o fracción de 100 m <sup>2</sup> | 1 por cada 100 m <sup>2</sup> o fracción de 100 m <sup>2</sup> |

En cada circuito, los conductores deben dimensionarse para soportar una corriente del 125% de la carga esperada, además de incluir protección por circuito. Los circuitos de iluminación deben soportar una carga máxima de 15 A y no deben exceder 15 puntos

de iluminación. Los circuitos de tomacorrientes deben tener una capacidad máxima de 20 A por circuito y no deben superar las 10 salidas.

Circuito de iluminación:

De acuerdo con la NEC los circuitos de iluminación de cobre aislado el conductor es de calibre 14 AWG para fase, tierra y neutro y que el circuito de iluminación del laboratorio de control cuenta con 12 tubos LED de 18 W (Fig. 35); aplicando la Ecuación (9).

Ecuación (9):

$$P_{TOTAL} = P_i * N_i \quad (9)$$

Donde:

Ptotal= Potencia total

Pi= Potencia de cada dispositivo

Ni= Número de dispositivos

$$P_{TOTAL} = 18W * 12 = 216 W$$

Circuito de tomacorriente:

Tomando en cuenta que la carga más utilizada (proyector) tiene una potencia de 319 W (Fig. 35) y está dentro del margen establecido por la NEC, el calibre del conductor de tierra y neutro debe ser igual al de la fase. Se recomienda utilizar un conductor de cobre aislado con un calibre de 12 AWG.

Se realizó la separación de los circuitos de iluminación y tomacorrientes, que anteriormente estaban conectados a un único breaker central del edificio. Como resultado, cada circuito fue asignado a un breaker independiente dentro del laboratorio.



Fig. 35. Circuitos separados en el Laboratorio de Control.

Se establecieron tres circuitos distintos:

- Uno de iluminación conectado a la salida del inversor.
- Uno de tomacorriente conectado a la salida del inversor.
- Uno de tomacorriente conectado a la red eléctrica.



Fig. 36. Circuito de iluminación independizado.

#### 4.2.3. Variables independientes del sistema de micro generación fotovoltaico

Dentro de las variables dependientes están la irradiación, el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos y la temperatura que pueden alcanzar dichos módulos en el transcurso del día que por sus características infieren en la capacidad de generación eléctrica en el presente trabajo de grado se almacenará dichos datos en intervalos de 5 minutos.

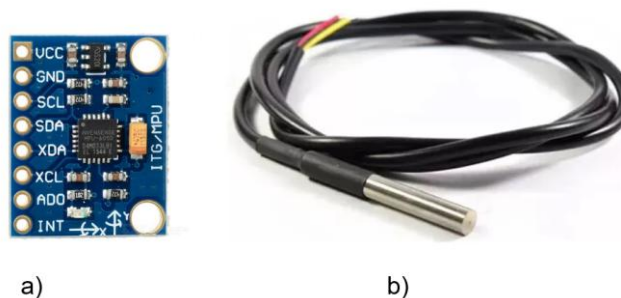


Fig. 37. Sensores de: a) Ángulo de inclinación b) Temperatura

#### 4.2.4. Variables dependientes del sistema de micro generación fotovoltaico

Dentro de las variables dependientes están el voltaje, corriente y la potencia a la que diferentes cargas o equipos se encuentren conectados en el transcurso del día que por sus características dependen de las variables independientes en el presente trabajo de grado se almacenó dichos datos en intervalos de 5 minutos; debido a que se puede crear un máximo de 10 feeds o canales con un máximo de 27 datos entre todos los feeds y así evitar posibles saturaciones en la plataforma con el intervalo de 5 minutos.

Para obtener datos en AC, se optó por el sensor PZEM-004T, que se utiliza en conjunto con un microcontrolador y una pantalla para visualizar datos de voltaje, corriente y potencia. El prototipo será ubicado en la entrada AC del inversor monofásico.

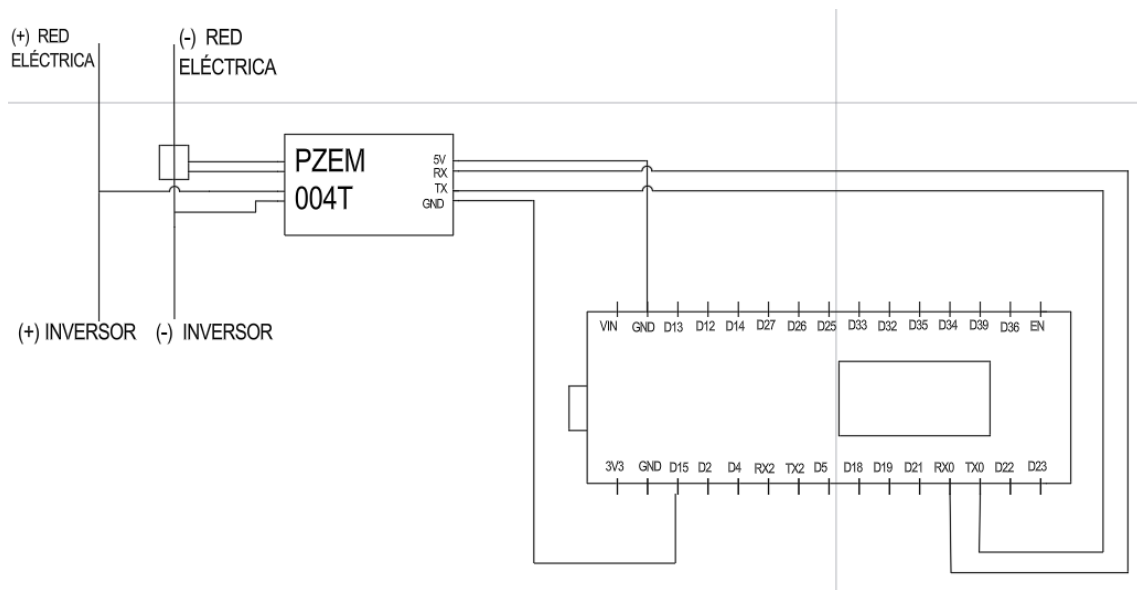


Fig. 38. Diagrama de conexión Prototipo de medición en AC.

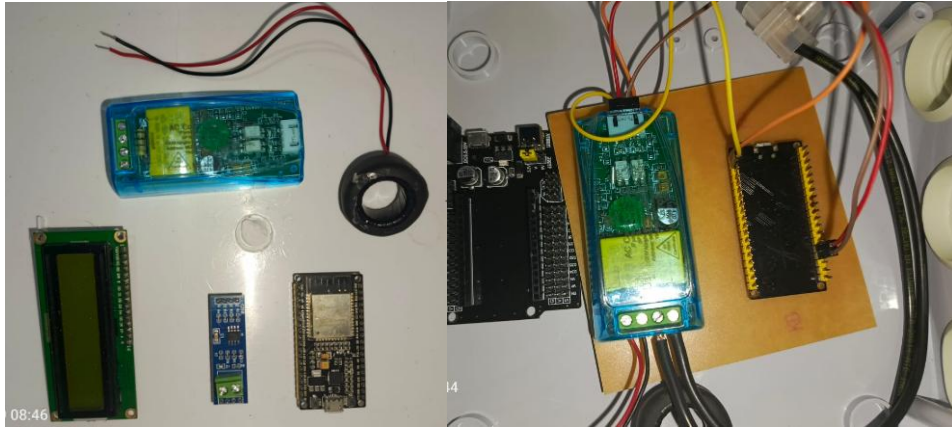
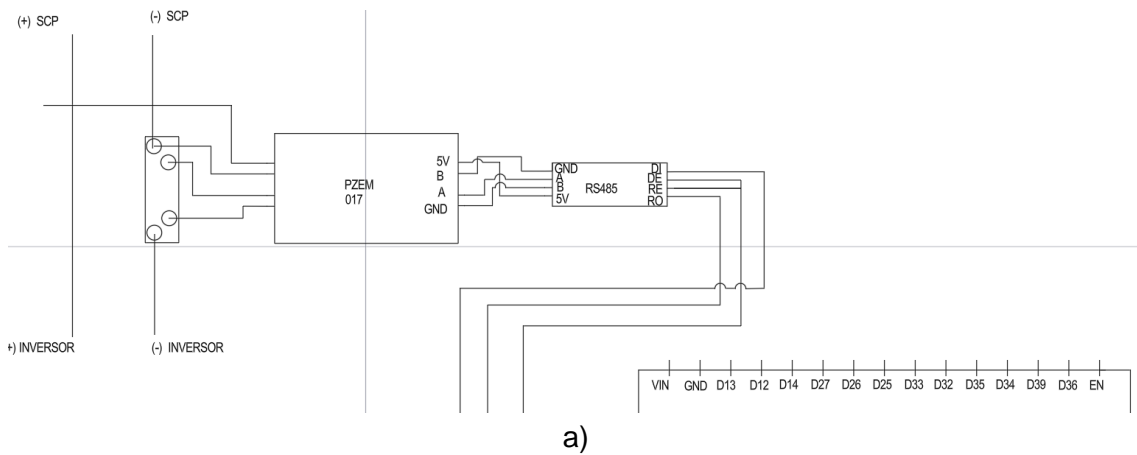
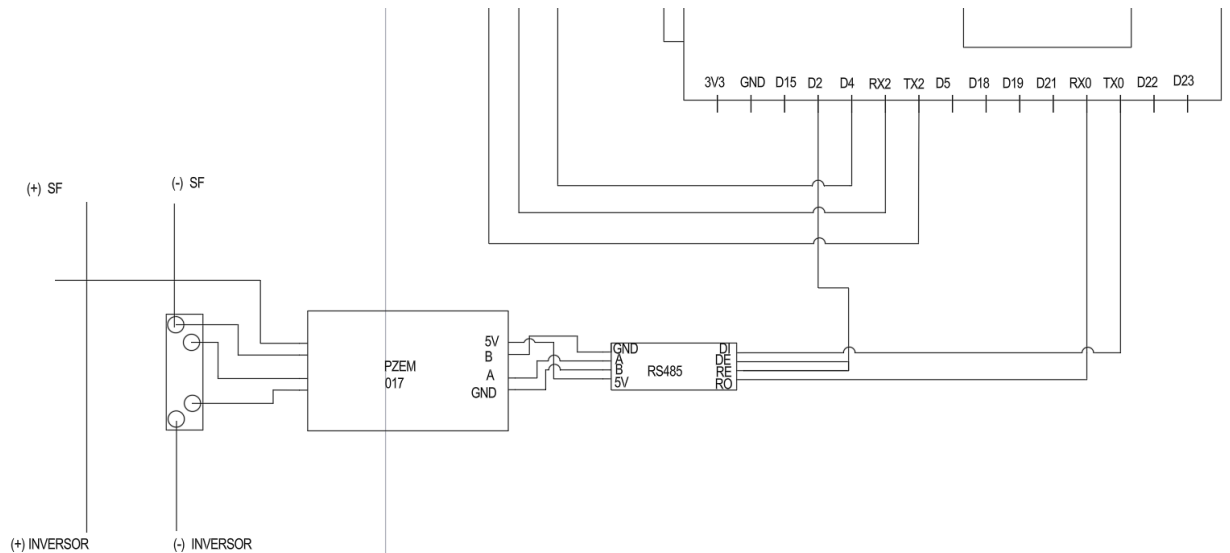


Fig. 39. Conexión física del prototipo en AC.

Para obtener datos en DC, se optó por el sensor PZEM-017, que se utiliza en conjunto con un microcontrolador y un convertidor RS485. Este sistema permitirá obtener datos de voltaje, corriente y potencia tanto del sistema fijo como del sistema fotovoltaico con control de posición.





b)

Fig. 40. Diagrama de conexión del prototipo de medición en DC.

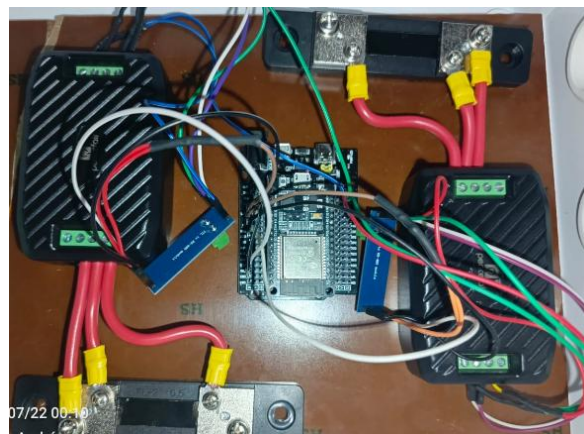


Fig.41. Conexión física del prototipo en DC.

### 4.3. Adquisición de datos de los sistemas de micro generación fotovoltaicos

Los datos obtenidos tanto de las variables dependientes como independientes serán enviados en tiempo real a la plataforma Adafruit IO encargada de la visualización de forma remota de temperatura, ángulo de inclinación, parámetros eléctricos en DC y parámetros eléctricos en AC. Cabe recalcar que por la gran cantidad de datos se presenta la parte principal mediante una imagen. Para acceder a los datos en un archivo Excel ubicado en el Anexo B mediante un enlace: [Anexos Tesis PV](#). Además, en el



Anexo A se encuentran los códigos de realizados en la interfaz de Arduino IDE, en el Anexo C se encuentra el plano del área de implementación y diagramas.

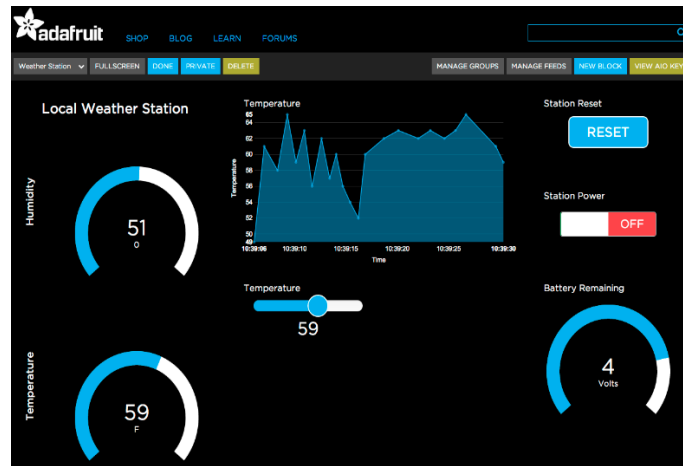


Fig. 42. Plataforma Adafruit IO.

#### 4.3.1. Etapa de pruebas:

En cuanto a los sensores y actuadores, todos cumplieron con los parámetros técnicos establecidos en la etapa de diseño, respetando sus valores máximos y mínimos dentro del rango de operación. La única excepción fue el arreglo de los módulos fotovoltaicos y el equipo encargado de la conversión DC/AC.

Durante dos meses previos a la selección del inversor, se realizaron mediciones de voltajes en cada arreglo en serie y paralelo, obteniendo valores que oscilaron entre 82 y 89 V DC. Se consideró también la reducción gradual del voltaje a lo largo de la vida útil de los módulos. Con base en estos resultados, se seleccionó un inversor monofásico con un margen de operación MPPT de 35 a 90 V DC y un voltaje máximo de 100 V DC. Posteriormente, se instaló el inversor y se tomaron lecturas de voltaje durante un mes, confirmando su correcto funcionamiento, lo que permitió proceder con la adquisición de datos.

Sin embargo, durante el periodo de recolección de datos, el inversor presentó errores por sobretensión fotovoltaica en periodos cortos del día, debido a picos de 98 V DC. Aunque estos valores se encuentran dentro de los parámetros máximos del inversor, el error impedía la conversión de energía DC/AC. Para solucionar este inconveniente, se decidió reducir un módulo fotovoltaico tanto en el sistema fijo como en el sistema con

control de posición solar, garantizando así el cumplimiento de los rangos de operación del inversor monofásico.

Parámetros del sistema del micro de eléctrica:

- Ángulo de inclinación e irradiación solar  
(20°,0°, -20°)
- Demanda eléctrica del circuito de iluminación y tomacorriente en AC (voltaje, corriente, potencia).  
(Tomacorriente proyector 319 W)  
(Iluminación 217 W)  
Total 536 W
- Capacidad instalada del sistema de micro generación en DC (voltaje, corriente, potencia).  
(Potencia total 1000 W)  
(Voltaje total 66.4 V)  
(Corriente total 16.4 A)
- Datos de operación del inversor monofásico tanto en AC como en DC (voltaje, corriente, potencia).  

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| (Potencia máxima 1600 W) DC | (Voltaje salida 120 V) AC  |
| (Voltaje máximo 100 V) DC   | (Corriente máxima 16 A) AC |
| (Corriente máxima 40 A) DC  |                            |

#### **4.3.2. Recolección de datos de variables independientes del sistema fijo y del sistema con control de posición solar**

Dentro de las variables independientes se encuentran la irradiación solar, el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos y la temperatura. Es fundamental recolectar datos sobre la irradiación y el ángulo de inclinación, ya que estos factores influyen directamente en la temperatura y la potencia generada por un módulo fotovoltaico. En el caso de un día nublado, podrían producirse intervalos de despeje en los que se alcancen valores máximos de irradiación solar, considerando que los niveles típicos se sitúan entre 190 y 250 W/m<sup>2</sup> (Fig. 43).

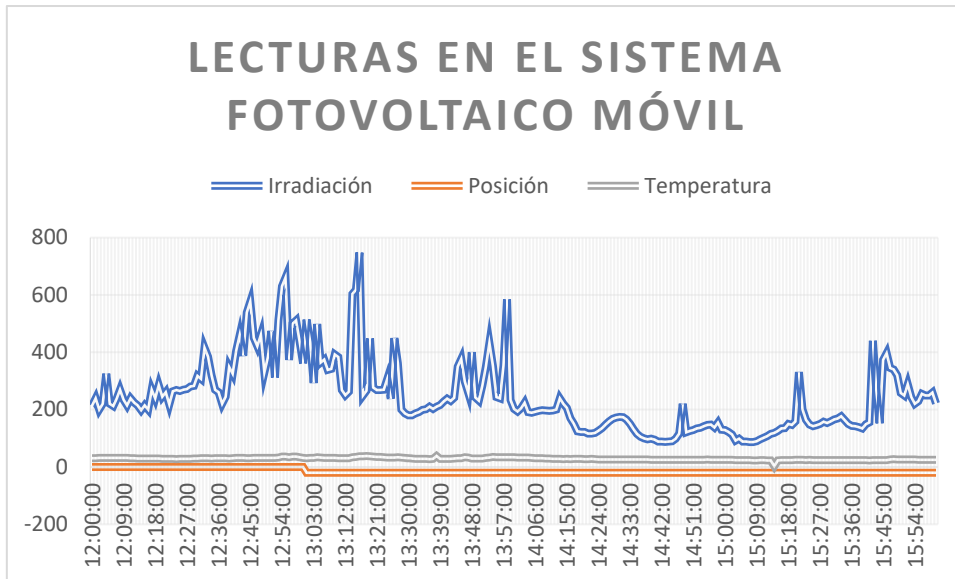


Fig. 43. Datos de los parámetros independientes en un día nublado.

En otro caso, durante un día despejado, la menor presencia de nubes contribuiría a alcanzar niveles máximos de irradiación cercanos a 800 W/m<sup>2</sup>, mientras que los valores mínimos de irradiación se reducirían, situándose alrededor de 190 W/m<sup>2</sup> a 250 W/m<sup>2</sup> (Fig. 44).

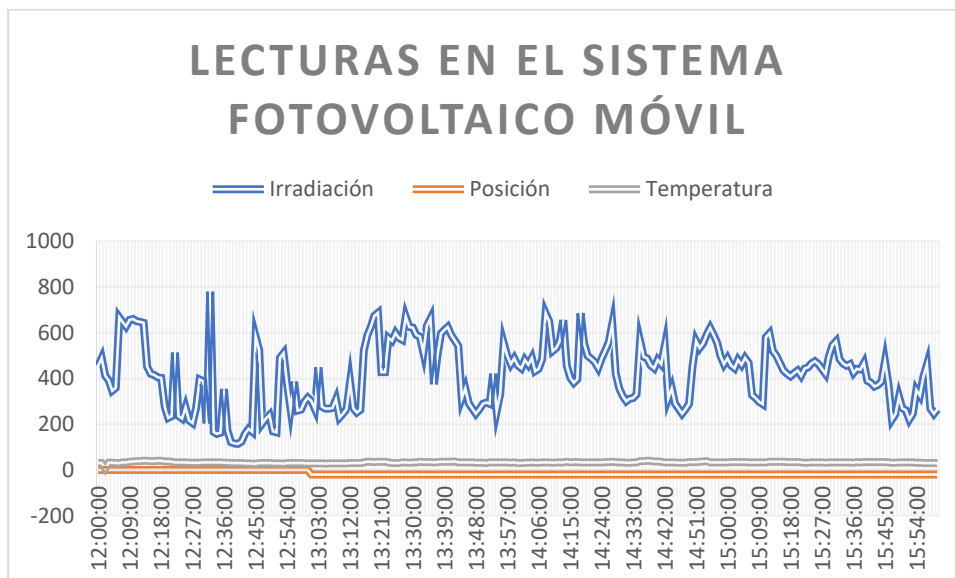


Fig. 44. Datos de los parámetros independientes en un día despejado.

El aspecto más relevante es el impacto en el incremento de la irradiación durante la tarde cuando se modifica el ángulo de inclinación, lo que a su vez favorece un aumento en la generación de energía eléctrica.

### 4.3.3. Recolección de datos de variables dependientes del sistema fijo y del sistema con control de posición solar

Dentro de las variables dependientes se encuentran el voltaje, la corriente y la potencia. En el análisis de la reducción de un módulo fotovoltaico en un sistema fijo y en un sistema con control de posición, se consideró su impacto en la microrred eléctrica que alimenta el laboratorio de control, así como el efecto de un día con baja irradiación que podría requerir el soporte de la red eléctrica. De acuerdo con los datos recolectados y la evaluación del funcionamiento del circuito de iluminación y del circuito de tomacorriente, se concluyó que la operación de la microrred eléctrica no se vio afectada (Fig. 45).

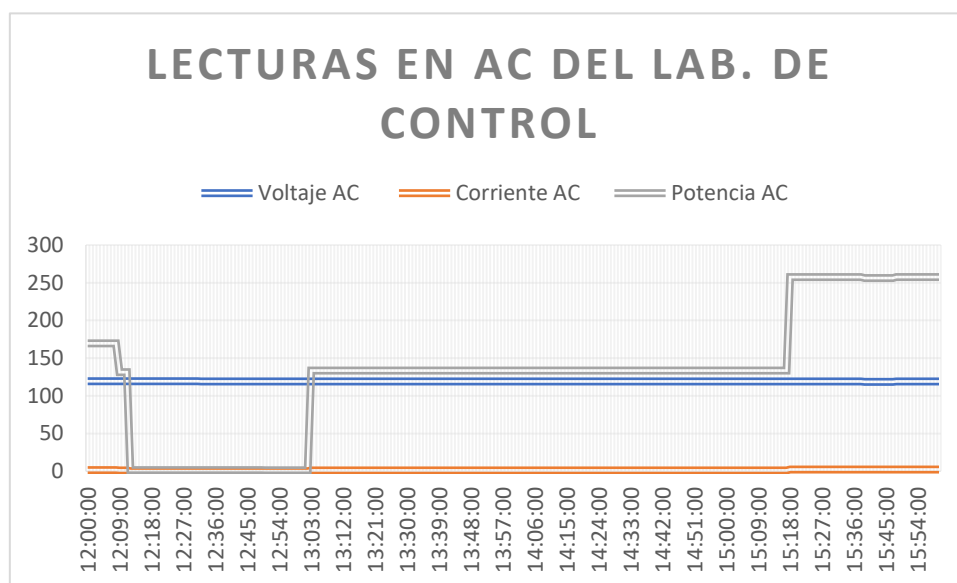


Fig. 45. Comportamiento de la micro red en un día nublado.

De igual manera, el correcto funcionamiento de la microrred eléctrica no se vio afectado, incluso con la incorporación de más equipos conectados, como el circuito de iluminación, un proyector, un cargador de computadora y un taladro utilizados como equipos de prueba (Fig. 46).

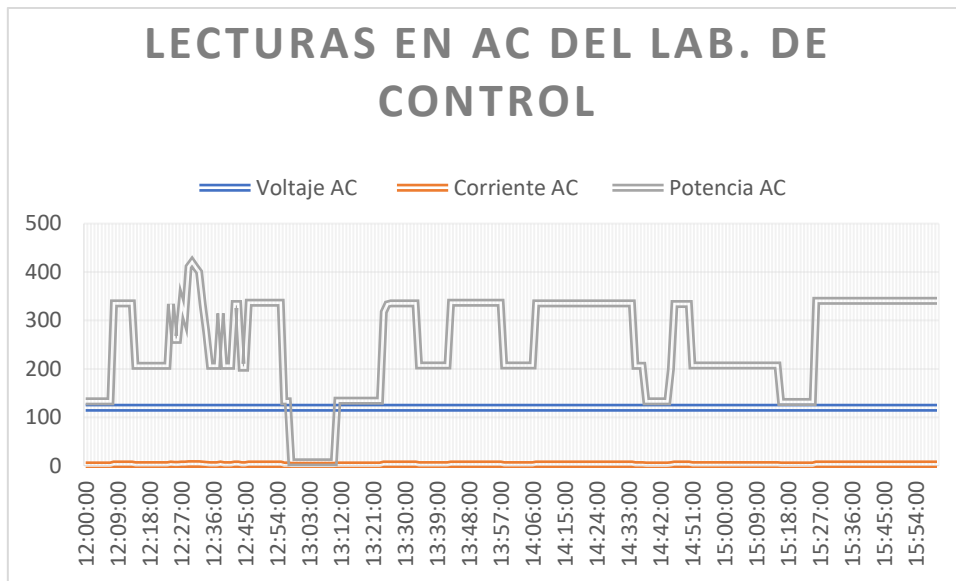


Fig. 46. Comportamiento de la micro red en un día despejado.

La generación fotovoltaica no es estable debido a factores como sombras provocadas por elementos externos o la presencia de nubes a lo largo del día. Esto puede ocasionar una disminución significativa en la generación eléctrica, pasando de 600 W/m<sup>2</sup> a 190 W/m<sup>2</sup> en cuestión de segundos. Considerando esta situación, se implementó un sistema de transferencia automática a la red eléctrica para garantizar la continuidad del suministro ante posibles fallos (Fig. 47).

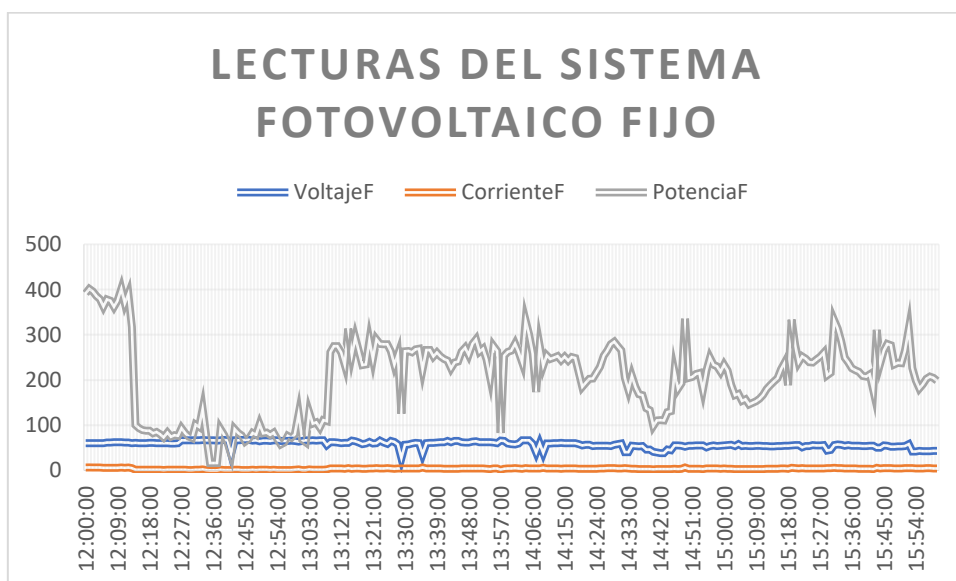


Fig. 47. Generación del sistema fotovoltaico fijo en un día nublado.

En el caso de presentar un porcentaje bajo de nubes aporta con una velocidad de carga de sistema de almacenamiento a su capacidad máxima además de alimentar los diversos circuitos que alimenta la micro red eléctrica (Fig. 48).

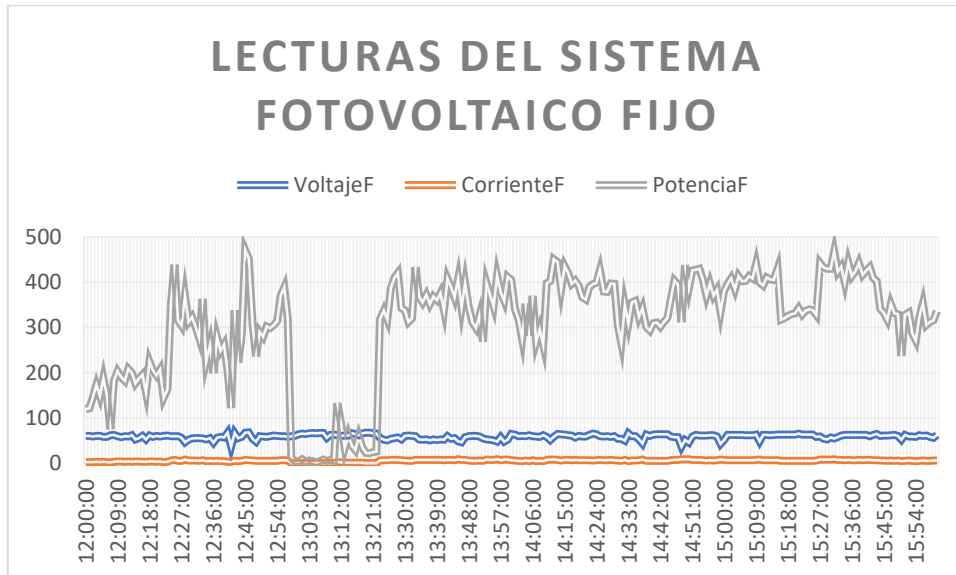


Fig. 48. Generación del sistema fotovoltaico fijo en un día despejado.

Para el sistema fotovoltaico con control de posición solar es de suma importancia no perder los pasos que da en el transcurso del día ya que se podría ver afectado de manera considerable en la generación eléctrica (Fig. 49).

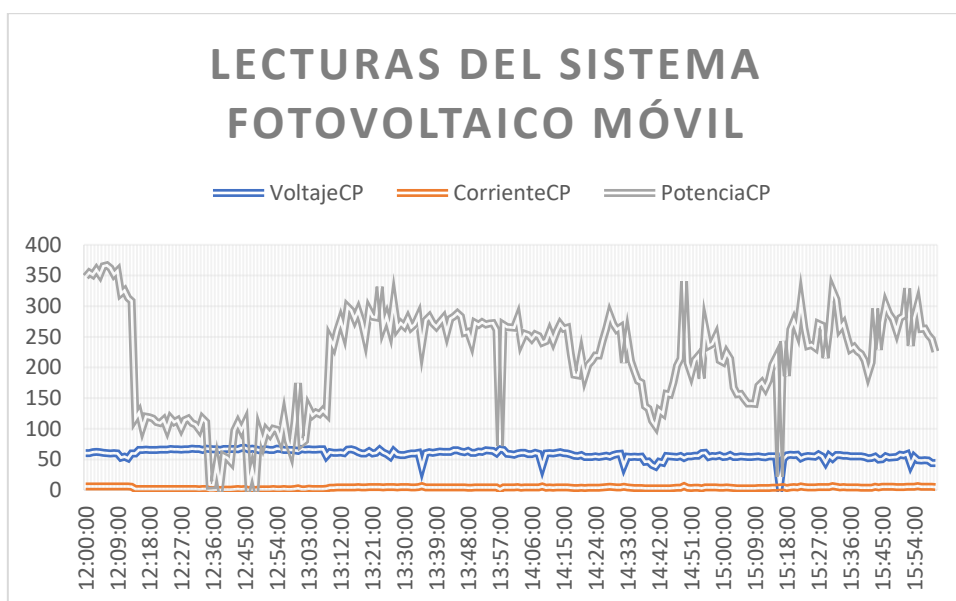


Fig. 49. Generación del sistema fotovoltaico móvil en un día nublado.

En el caso del sistema con control de posición se puede notar que el sistema de almacenamiento se cargó por completo a pesar de las activaciones de los diversos equipos eléctricos antes mencionados (Fig. 50).

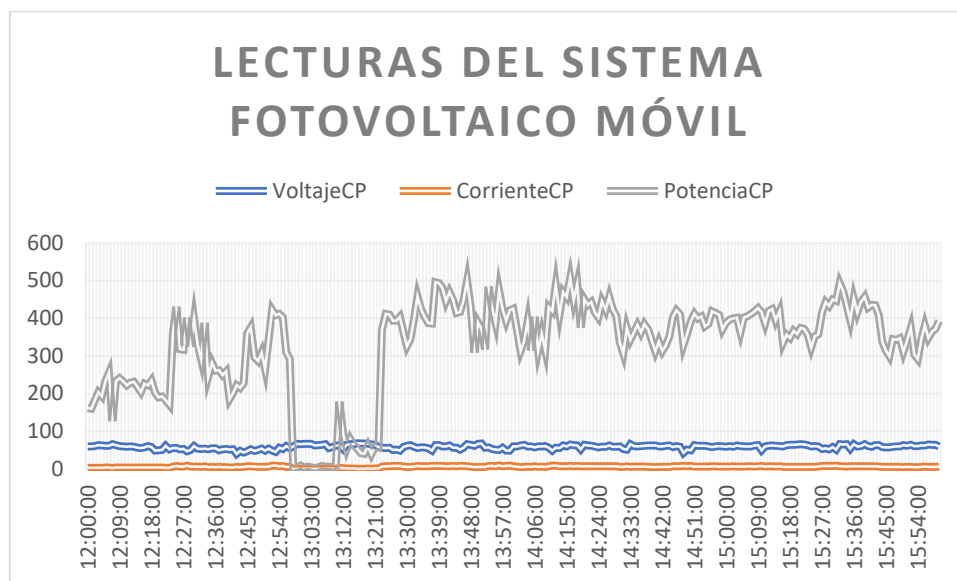


Fig. 50. Generación del sistema fotovoltaico móvil en un día despejado.

La recolección de datos permite identificar aspectos importantes como el estado de los módulos fotovoltaicos, el análisis de generación en tiempo real de la micro red eléctrica además de afectaciones por sobre tensiones incluso posibles sobrecargas a la micro red eléctrica.

#### 4.4. Análisis y discusión de los sistemas de micro generación fotovoltaicos

Conseguir modificar el ángulo de inclinación conlleva aspectos importantes como determinar el eje de giro, los grados de libertad, el peso de los mulos y tipos de engranajes acoplados el actuador electromecánico, los posibles juegos o movimientos que se puedan presentar a pesar de contar con un freno dicho actuador y las posibles soluciones como incorporar resortes que cumplen un papel importante como evitar activaciones innecesarias y mantener fijo el grado de inclinación además de incorporar finales de carrera que aportan en la reducción de activaciones además de incorporar sensores que detecten la temperatura de los módulos fotovoltaicos, inclinación e irradiación que reciben. Por el contrario, con el sistema fotovoltaico fijo es más simple ya que necesita de la estructura de soporte, estudio del ángulo óptimo de inclinación y

orientación al ser diferente al sistema con control de posición solar. Además del uso de programa computacional que describe los ángulos críticos evitando pasos incensarios y determinar los horarios críticos en los cuales la generación presenta mejoras considerables. Incluso realizar el correcto manejo de área por carga de uso y alargar la vida útil de la micro red eléctrica.

Con respecto la parte de adquisición de datos facilita la detección de fallos en diversos equipos además de presentar un comportamiento más detallado de los dos sistemas al estar conectados en paralelo mediante el uso de microcontroladores, reloj de forma externa para manejar el intervalo de activaciones de sensores y envió de datos a la plataforma Adafruit IO.

Dentro de los parámetros más importantes tomados en cuenta para el análisis de la mejora de generación eléctrica se tomó en cuenta el correcto funcionamiento de la micro red eléctrica en los periodos más altos de consumo de energía eléctrica o máximas demanda coincidente con respecto al días con bajo y alto índice de nubosidad y sus niveles de irradiación teniendo en cuenta la temperatura a la que se encuentren los módulos fotovoltaicos y su respectiva inclinación (Fig. 51). Con respecto al horario de más consumo se obtuvo una temperatura promedio de 28.58°C y un promedio de irradiación de 243.77 W/m<sup>2</sup> cabe recalcar sin presentar fallas en la alimentación de la micro red.

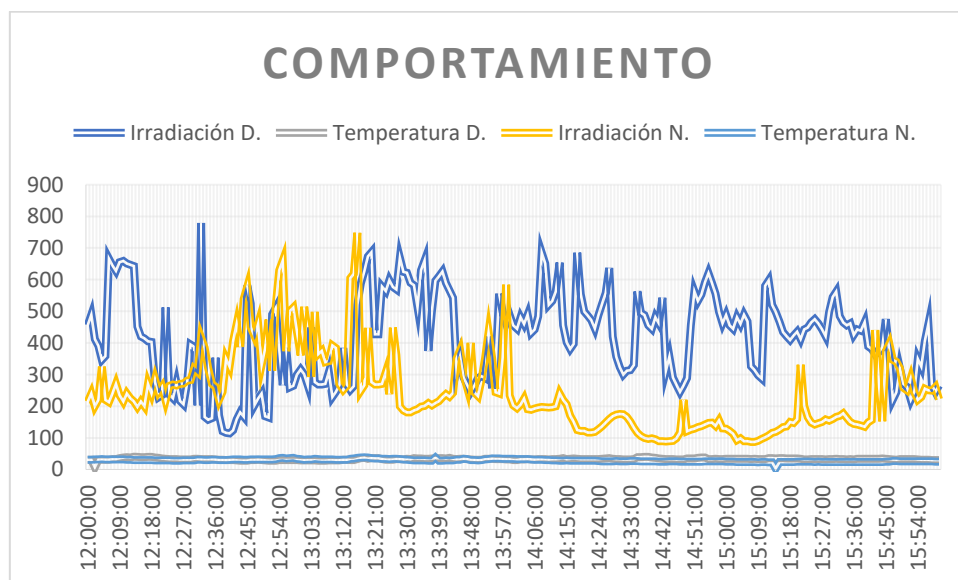


Fig. 51. Comportamiento de irradiación entre un día nublado y un día despejado.



Con respecto a las modificaciones por sobre tensión fotovoltaica se tomó datos del comportamiento en AC de la micro red con respecto a climas nublados y climas con bajo porcentaje de nubosidad se analizó el correcto comportamiento de la micro red este en formato prioridad de energía renovable y no pasar al consumo de la red eléctrica en dicho periodo de más manejando corriente de 5 A en AC además de considerar la corriente de 3 A en DC suministrada para cargar las baterías (Fig. 52).

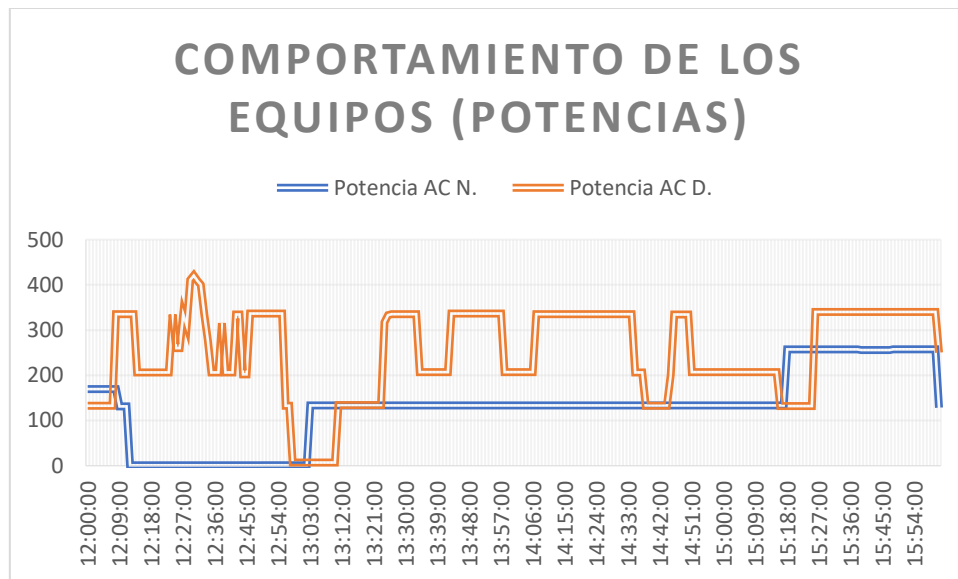


Fig. 52. Comportamiento de la micro red entre un día nublado y un día despejado.

El análisis de generación del sistema fijo con respecto al sistema con control de posición determina un comportamiento muy similar para el día nublado en la forma de la onda y una amplitud de 6.74 W en potencia promedio con un voltaje de 58.5 V para el sistema con control de posición y 57.84 V para el sistema fijo, con una corriente promedio de 3.71 A para el sistema con control de posición y 3.62 A para el sistema fijo. Para el caso del día despejado la diferencia de potencia promedio es de 26.67 W con voltaje de 58.68 V para el sistema con control de posición solar y para el sistema fijo un voltaje de 58.79 V marcando la diferencia en la corriente.

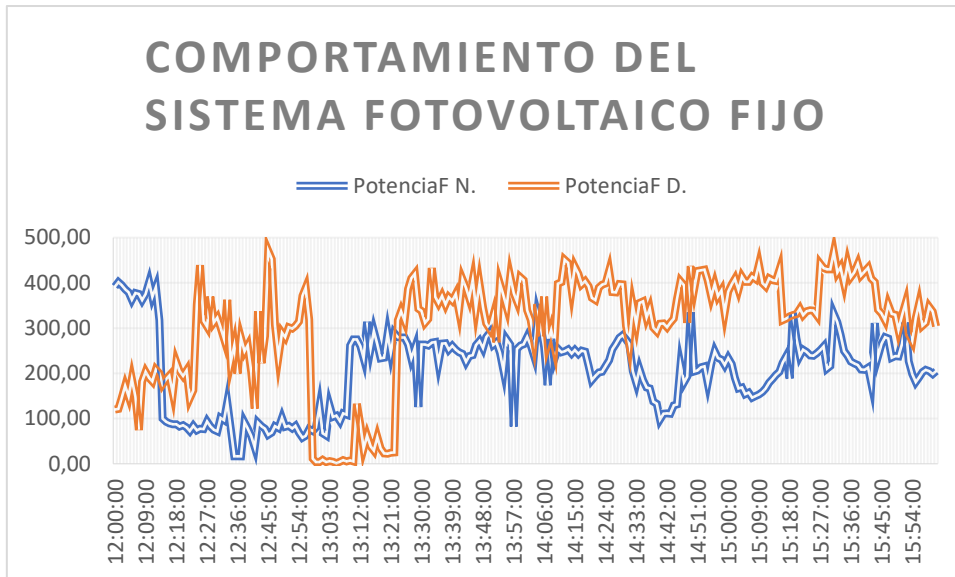


Fig. 53. Comportamiento de la potencia DC entre nublado y un día despejado.

En el caso de las potencias del sistema con control de posición solar comparadas el día nublado con respecto al día despejado tiene una diferencia de 115.17 W (Fig. 54) y del sistema fijo del día nublado con respecto al día despejado es de 41.73 W (Fig. 53).

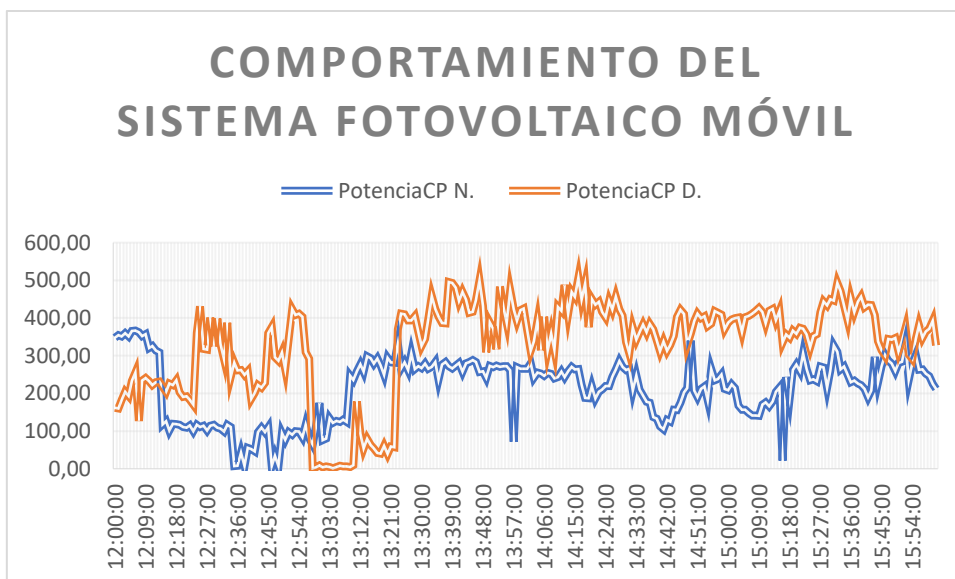


Fig. 54. Comportamiento de la potencia DC entre nublado y un día despejado.

## Conclusiones

Un sistema de micro generación fotovoltaico está compuesto por elementos clave como el análisis de orientación e inclinación, módulos fotovoltaicos, inversores y sistemas de acumulación, que pueden configurarse como sistemas On Grid u Off Grid según las necesidades. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos fijos no aprovechan la captación de radiación solar, limitándolos. Por ello, se identificaron y describieron elementos adicionales que, acoplados al sistema fijo, permiten su transformación en un sistema con control de posición solar. Estos incluyen actuadores electromecánicos, finales de carrera, relés electromecánicos y sensores que proporcionan datos críticos como irradiación, temperatura, ángulo de inclinación y parámetros eléctricos (voltaje y corriente en AC y DC).

El dimensionamiento del sistema de micro generación fotovoltaico con control de posición solar, diseñado para maximizar la captación de radiación solar en los módulos. Por ende, fue necesario definir claramente el procedimiento, el lugar de estudio y el laboratorio seleccionado, el cual contaba con circuitos independientes y una potencia de consumo fija de 600 W. Los materiales empleados incluyeron un actuador electromecánico y una caja reductora con una relación de 40:1, logrando una velocidad de giro de los módulos fotovoltaicos de 0.69 rpm. Adicionalmente, con el uso del programa NASA POWER, se determinaron tres ángulos para incrementar la captación de radiación solar a lo largo del año: 20°, 0° y -20°, lo que permita mejorar el rendimiento energético del sistema. Con una potencia instalada de 1000 W y considerando la potencia consumida por los circuitos, se seleccionó un inversor de 2000 W con una capacidad para manejar una corriente máxima de 40 A, garantizando un margen de seguridad adecuado y un correcto funcionamiento del sistema.

Se incorporaron sensores y actuadores al sistema con control de posición solar, y tras completar la etapa de pruebas, se recopilaron datos de generación eléctrica de dos sistemas: uno fijo y otro con control de posición solar, evaluados durante los horarios de mayor consumo del Laboratorio de Control. El análisis comparativo de ambos sistemas reveló que, si bien la diferencia en generación de energía entre el sistema fijo y el sistema con control de posición solar no es considerable (promedios entre 10 W y 30 W), se evidencia una diferencia significativa en condiciones climáticas. En días con bajo porcentaje de nubosidad, la generación es notablemente mayor en comparación con

días nublados, alcanzando hasta 150 W adicionales. A pesar de la reducción de un módulo fotovoltaico debido a saturaciones en el inversor monofásico, el sistema mantiene un suministro eléctrico confiable, demostrando que el control de posicionamiento solar mejora la captación de irradiación solar y optimiza el rendimiento energético bajo diversas condiciones climáticas.

## **Recomendaciones**

Con el avance constante de la tecnología en el ámbito de la micro generación fotovoltaica, es fundamental considerar la integración de innovaciones tecnológicas futuras, como módulos fotovoltaicos más eficientes, actuadores electromecánicos con mayor precisión y un mayor número de pasos, inversores multifuncionales que optimicen el rendimiento energético, y sensores de alta precisión para una medición más exacta de los parámetros eléctricos y ambientales.

En el contexto de sistemas de micro generación eléctrica, se puede optar por soluciones híbridas que integren tecnologías como la energía eólica y el hidrógeno verde. Estas alternativas no solo complementan la generación fotovoltaica, sino que también aprovechan su capacidad para impulsar la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis, logrando así un sistema más eficiente y sostenible.

Para posteriores estudios acerca del comportamiento de la micro red eléctrica con respecto a la variación del ángulo de inclinación, modificar el sistema de almacenamiento y acoplar más módulos fotovoltaicos en paralelo ya que el inversor monofásico soporta una corriente máxima de 40 A revisar los manuales y programas ya que cuentan con instrucciones que deben ser realizadas.

## Bibliografía

- [1] Agencia Internacional de Energía [AIE]. (2019), Generación de energía renovables International Energy Agency, Francia.
- [2] Villegas E., Alcívar L., octubre 2020, Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil | Enhanced Reader. moz-extension://f6593187-8840-4af7-8a3a-e684817f3634/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F19525%2F1%2FUPS-GT003047.
- [3] Hidalgo A., julio 2015, "Diseño de un sistema de energía fotovoltaica para la facultad de ciencias ambientales de la universidad internacional SEK". <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1289/1/Diseño%20de%20un%20sistema%20de%20energía%20fotovoltaica%20para%20la%20facultad%20de%20Ciencias%20Ambientales%20de%20la%20Universidad%20Internacional%20SEK.pdf>
- [4] Daza L., Perez J., 2020, "Diseño, construcción e implementación de un sistema de seguimiento solar de un eje en una estación de carga de celulares utilizando paneles solares." [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9071/1660\\_e\\_4%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9071/1660_e_4%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] Instituto de Meteorología e Hidrología [INAMHI], El potencial solar en las regiones del Ecuador.
- [6] Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA]. (2021), Energías renovables International Renewable Energy Agency, Estados Unidos.
- [7] Ramos H., octubre 2014, "Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la.", moz-extension://f65931e684817f3634/enhancedreader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fcmav.repositorioinstitucional.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F1004%2F521%2F1%2FTesis%2520Rafael%2520Luna%2520Puente%2520C%2520Humberto%2520Ramos%2520L%25C3%25B3pez.
- [8] Villegas E., Alcívar L., octubre 2020, Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil | Enhanced Reader. moz-extension://f6593187-8840-4af7-8a3a-e684817f3634/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F19525%2F1%2FUPS-GT003047.
- [9] Basurto L., diciembre 2015, *REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA FICHA DE REGISTRO DE TESIS*. moz-extension://f6593187-8840-4af7-8a3a-e684817f3634/enhancedreader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Frepositorio.ug.edu.ec%2Fbitstream%2Fredug%2F8885%2F1%2FTESIS%2520PANELES%2520SOLAR%2520V3.

- [10] López B., López L (2022). Diseño eléctrico de un sistema fotovoltaico On Grid para el complejo de concientización y cuidado del mar, Yubarta. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22511/1/UPS-GT003717.pdf>
- [11] Romero J.,(2020). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Ecuador en baja tensión. Recuperado de:
- [12] Aimacaña N., Blandon B. (2018). Implementación de un seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 w en el ceaa - esPOCH. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10824/1/108T0281f>
- [13] Williams J., (2018) Comparative study between two novel sensorless and sensor based dual-axis solar trackers. Solar Energy. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.09.009>.
- [14] Dávila C., (2016). Diseño de un seguidor solar para un sistema de alta concentración con arreglo parabólico y óptica de kohler. Recuperado de: <http://repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/528/1/davilaperaltachristianm.pdf>
- [15] Sen Z., (2008). Solar energy fundamental and modeling techniques. Recuperado de: Fundamentos de Energía Solar y Técnicas de Modelado: Atmósfera, Medio Ambiente, Cambio Climático y Energías Renovables
- [16] De la Gala A., (2018). Implementación de un Seguidor Solar para la Evaluación Energética Comparativa de Paneles Fotovoltaicos". Recuperado de: [http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3255/1348\\_2018\\_de%20la%20gala\\_contreras\\_a\\_faci\\_fisica\\_aplicada.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3255/1348_2018_de%20la%20gala_contreras_a_faci_fisica_aplicada.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [17] Calderón A., (2022). Implementación de un cargador de baterías con algoritmo mppt y convertidor buck para un sistema fotovoltaico. Recuperado de: <file/04%20MEL%20175%20TRABAJO%20DE%20GRADO%20.pdf>
- [18] Revelo Vaca, D., Ordonez, F., & Villada, J. (2019). *Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables*. MERNNR Ecuador. Recuperado de: [https://www.ingenieriaverde.org/wpcontent/uploads/2020/01/Mapa\\_Solar\\_del\\_Ecuador\\_2019](https://www.ingenieriaverde.org/wpcontent/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019).
- [19] REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-008/23. (2023). Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. Recuperado de: Regulación Nro. ARCERNNR-008/23 (controlrecursosyenergia.gob.ec)

- [20] Ramos J., diciembre 2017, "Optimización de Modelos de Módulos Fotovoltaicos y del Control del MPPT". Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?Codi=211361.pdf>
- [21] De la Torre A., (2022). Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque "d" del campus sur de la universidad politécnica salesiana". Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23321/1/UPS%20%20TTS957.pdf>
- [22] Musuña C., Veintimilla F., (2018). Diseño e implementación de un módulo didáctico para la visualización de las curvas de eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos. Recuperado de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5409/1/PI-000766.pdf>
- [23] Porras H., Ramírez D. (2015). Energía solar fotovoltaica. Latacunga-Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado de: [repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2971/1/T-UTC-3927f](http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2971/1/T-UTC-3927f)
- [24] Inguanzo J., De la Torre J., Gómez L., Inguanzo O., abril 2016, "Caracterización estructural y eléctrica de celdas fotovoltaicas de doble y triple capa". Recuperado de: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/470/1/-Tesis%20Joselyn%20Inguanzo%20Saucedo%2C%20Leobardo%20Gómez%20Morales%2C%20Alberto%20de%20la%20Torres%20Moya%2C%20Oscar%20Inguanzo%20Saucedo.pdf>
- [25] Sears F., Zemansky M., Hugh D., Young A. (2009). Freedman Física Universitaria con Física Moderna. Recuperado de: [https://drive.google.com/file/d/0B1QuKxMndwLYNE80UTJBWmt4c00/edit?resourcelkey=.](https://drive.google.com/file/d/0B1QuKxMndwLYNE80UTJBWmt4c00/edit?resourcelkey=)
- [26] Gruezo D., Solis V., (2022). *Inversores solares fotovoltaicos inteligentes*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8483048.pdf>
- [27] Lopez B., Lopez L., marzo 2022. "Diseño eléctrico de un sistema fotovoltaico Off Grid para el complejo de concientización y cuidado del mar Yubarta". Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22511/1/UPS-GT003717.pdf>
- [28] Melo C., (2019). Implementación de un sistema de micro generación eólica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la universidad Técnica del Norte. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10108/2/04%20MEL%20077%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [29] Herrera M., Franco B., (2022). Evaluación del rendimiento de paneles fotovoltaicos bajo las condiciones ambientales de Guayaquil. Recuperado de: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24812/1/Tesis\\_t1212ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24812/1/Tesis_t1212ec.pdf)
- [30] Gaete A., enero 2019, "Diseño de seguidor solar fotovoltaico de dos ejes de bajo costo". Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/49140>
- [31] Revelo F., (2018). ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SUPERVISIÓN EN TIEMPO REAL. Recuperado de:



[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28203/1/Tesis\\_%20t1433ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28203/1/Tesis_%20t1433ec.pdf)

- [32] Mora H., (2011) Sistemas de adquisición y procesamiento de datos. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>.
- [33] Ramírez M., Mendoza M., (2016). Diseño e implementación de un sistema autónomo de iluminación con sensores de luz y potencia. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19561/I.C.E.%2001-16%20-%2019CD18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [34] Gutiérrez J., (2020). Giroscopios y acelerómetros electrónicos para medición de velocidad angular de mecanismos. Recuperado de: [https://cise.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3287/1/Tesis\\_Jesús%20Fernando%20Gutiérrez%20García\\_14%20ago%202020.pdf](https://cise.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3287/1/Tesis_Jesús%20Fernando%20Gutiérrez%20García_14%20ago%202020.pdf)
- [35] Young, H., Freedman A., Sandin, T., Ford A. (1996). *University physics*, Vol. 9. Addison-Wesley Reading, MA.
- [36] Muñoz, J. patricio, Rojas, M. V., & Barreto, C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 19, 60–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>.
- [37] Salazar A., (2017). Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares. Recuperado de: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24812/1/Tesis\\_t1212ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24812/1/Tesis_t1212ec.pdf)
- [38] Coronel W., diciembre 2019, “Mejoramiento del índice de consumo energético mediante sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona-2019”. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8010>
- [39] Calcina A., (2016). Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP. Recuperado de: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3928/Calcina%20Sotelo%20.pdf?sequen>
- [40] Herrera M., Peláez M., 2019, “Diseño de un dispositivo para la automatización del disparo de un arma de fuego hechizada mediante señales EMG obtenidas con el sensor MYO”. Recuperado de: <https://repositorio.utp.edu.co/items/6b23d175-895c-4baf-8c97-a952dd534c53>
- [41] González V., (2002). Robótica. Recuperado de: [http://platea.pntic.mec.es/vonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/index.htm](http://platea.pntic.mec.es/vonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/index.htm).
- [42] Vivar S., 2019, “Diseño de un módulo de circuitos electrónicos programables como herramienta didáctica para la enseñanza aprendizaje de inteligencia artificial de la carrera de ingeniería en computación y redes”. Recuperado de: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1596>

- [43] Mecafe F., (2017). Motor paso a paso. Recuperado de: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1596>
- [44] Hernandez, C. (2016). Seccion de motores paso a paso. Mexico: Udlap. Recuperado de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/herandez\\_b\\_ii/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/herandez_b_ii/capitulo3.pdf)
- [45] Calvopiña J., junio 2021, "Implementación de un sistema de control de movimiento un servomotor industrial usando un autómeta programable en el laboratorio de instrumentación virtual de la unidad de gestión de tecnologías ESPE". Recuperado de: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=ss&e=web&cd=&ved=2ahUKEwik4qjb3oGDAXV4RTABHf9rCKsQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F2626%2F2%2FM-ESPEL-ENT-0367.pdf&usg=AOvVaw2WJtEvoYwETCZY4V6eY0M7&opi=89978449>
- [46] Muñoz, C. (2021). Dimensionado y análisis de viabilidad de una instalación fotovoltaica con conexión a red en el sector agropecuario. *Universidad de Sevilla. Trabajo Fin de Grado*. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128804/TFG-3871-MU%C3%91OZ%20GALINDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, pp.114.
- [47] Sánchez L., diciembre 2020, "Sistema de automatización y control para una silla de ruedas bipedestadora en el centro de rehabilitación física Bendiciones". Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31983/1/t1752ec.pdf>
- [48] Córdor H., (2020). Generación distribuida con energías renovables en Perú. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11042/4782>.
- [49] Chuqui M., (2014). Analisis de generación distribuida en hogares y edificaciones. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7529/6/UPS%20-%20KT00890.pdf>
- [50] ARCERNNR, (2023). Resolución Nro. ARCERNNR-001/2023. Recuperado de: [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2023/02/Anexo-001-2023-Codificacion-Regulacion-004-20\\_revDE-signed.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2023/02/Anexo-001-2023-Codificacion-Regulacion-004-20_revDE-signed.pdf)
- [51] Yaurivilca J., 2021," Microgeneración distribuida fotovoltaica para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en el alimentador A4401 de la subestación Chupaca-2021". Recuperado de: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20500.12394/10520/1/IV\\_FIN\\_109\\_TE\\_Yaurivilca\\_Rojas\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20500.12394/10520/1/IV_FIN_109_TE_Yaurivilca_Rojas_2021.pdf)
- [52] Masih A., Odinaev I.,2019, "Comparación de rendimiento del seguidor solar de doble eje con el sistema solar estático en la región de los Urales de Rusia": Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8736642/authors#authors>
- [53] W. Nsengiyumva, S. G. Chen, L. Hu and X. Chen, (2018)."Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems ( STS ): A review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. April 2017, pp. 250-279.

- [54] A. B. Pulungan, L. Son, S. Huda, Syafii and Ubaidillah, (2019). "Semi Active Control of Solar Tracker Using Variable Position of Added Mass Control," 2019 16th International Conference on Quality in Research (QIR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering, Padang, Indonesia, pp. 1-5, doi: 10.1109/QIR.2019.8898290.
- [55] N. Kuttybay et al., (2019) "An Automated Intelligent Solar Tracking Control System With Adaptive Algorithm for Different Weather Conditions," IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Selangor, Malaysia, 2019, pp. 315-319, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825098.
- [56] Vélez V.,(2017). "Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar". Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9081>.
- [57] Villacis S.,(2016)"Diseño y simulación en el software SolidWorks, de un equipo para abastecimiento de energía solar a dispositivos móviles". Recuperado de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/83c7cf8a-7cbc-4d8b-bb58-26e215204d89>.
- [58] Pérez D., (2019)." Diseño de un sistema de generación fotovoltaico con seguidor luminico independiente de su ubicación". Recuperado de: [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2257/1/TL\\_PerezSalasDiego](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2257/1/TL_PerezSalasDiego).
- [59] Rivera V., Olmedo P., (2015). "Estudio de energías renovables con conexión a la red eléctrica". Recuperado de:<https://dspace.ups.edu/bitstream/123456789/10451/1/UPS-GT001542>
- [60] Crucerira E., (2019). "Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la universidad técnica del norte". Recuperado de: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10103/2/04%20MEL%20076%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

## Anexos

Anexo A: Mediante el siguiente enlace se puede acceder a los códigos realizados en la interfaz de Arduino IDE: [Anexos Tesis PV](https://utneduecmy.sharepoint.com/my?id=%2Fpersonal%2Fwainquilanf_utn_edu_ec%2FDocuments%2FAnexos%20Tesis%20PV&ga=1).

[https://utneduecmy.sharepoint.com/my?id=%2Fpersonal%2Fwainquilanf\\_utn\\_edu\\_ec%2FDocuments%2FAnexos%20Tesis%20PV&ga=1](https://utneduecmy.sharepoint.com/my?id=%2Fpersonal%2Fwainquilanf_utn_edu_ec%2FDocuments%2FAnexos%20Tesis%20PV&ga=1)

```
#include <WiFi.h>
#include <Adafruit_MQTT.h>
#include <Adafruit_MQTT_Client.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <ThreeWire.h>
#include <RtcDS1302.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit MPU6050.h>
#include <esp_wifi.h>
#include <esp_wpa2.h>
#include <ModbusMaster.h>

#define RXD_PIN 25 // Pin RX del ESP32
#define TXD_PIN 26 // Pin TX del ESP32
#define DE_RE_PIN 27 // Pin para controlar DE/RE del RS485

// Crear objeto Modbus
ModbusMaster node;

void preTransmission() {
  digitalWrite(DE_RE_PIN, HIGH); // Habilitar transmisión
}

void postTransmission() {
  digitalWrite(DE_RE_PIN, LOW); // Habilitar recepción
}

// Configuración de red Eduroam
const char* ssid = "eduroam";
const char* username = "";
```

```

const char* password = "";

// Configuración de Adafruit IO
#define IO_USERNAME ""
#define IO_KEY ""
#define AIO_SERVER "io.adafruit.com"
#define AIO_SERVERPORT 1883

WiFiClient client;

Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, IO_USERNAME, IO_KEY);

Adafruit_MQTT_Publish temperatureFeed = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, IO_USERNAME
"/feeds/temperature");

Adafruit_MQTT_Publish pitchFeed = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, IO_USERNAME "/feeds/pitch");
Adafruit_MQTT_Publish irradianciaFeed = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, IO_USERNAME "/feeds/irradiancia");
// Agregado

// Configuración de pines y dispositivos
#define ONE_WIRE_BUS 15

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature DS18B20(&oneWire);

// Configuración para el RTC DS1302
ThreeWire myWire(4, 5, 2); // IO, SCLK, CE para el DS1302
RtcDS1302<ThreeWire> Rtc(myWire);

Adafruit_MPU6050 mpu;

// Pines de relés y ventilador
int encendido1 = 33;
int encendido = 13;
int gderecha = 14;
int gizquierda = 12;
int ventilador = 32;

// Variables para MPU6050
float pitch = 0.0;
float dt = 0.02; // Tiempo de muestreo
float alpha = 0.96;

// Prototipos de funciones
void reconnectMQTT();
void printDateTime(const RtcDateTime&);

```

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Configuración de WiFi
    WiFi.mode(WIFI_STA);

    // Configuración WPA2 Enterprise
    wifi_config_t wifi_config = {};
    strcpy((char*)wifi_config.sta.ssidEduroam, ssidEduroam);
    wifi_config.sta.bssid_set = false;
    wifi_config.sta.threshold.authmode = WIFI_AUTH_WPA2_ENTERPRISE;
    esp_wifi_set_config(WIFI_IF_STA, &wifi_config);

    // Configurar WPA2 Enterprise
    esp_wpa2_config_t config = WPA2_CONFIG_INIT_DEFAULT(); // Nueva estructura requerida
    esp_wifi_sta_wpa2_ent_enable(&config);

    esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_identity((uint8_t*)username, strlen(username));
    esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_username((uint8_t*)username, strlen(username));
    esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_password((uint8_t*)password, strlen(password));

    WiFi.begin(ssid);

    // Esperar conexión WiFi
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
    int attempts = 0;
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 60) {
        delay(1000);
        Serial.print(".");
        attempts++;
    }

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        Serial.println("\nConectado a WiFi");
        Serial.print("Dirección IP: ");
        Serial.println(WiFi.localIP());
    } else {
        Serial.println("\nNo se pudo conectar a WiFi");
    }

    // Configuración de sensores

```

```

DS18B20.begin();
if (!mpu.begin()) {
    Serial.println("MPU6050 no encontrado!");
    while (1);
}
mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_2_G);
mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_250_DEG);
mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_21_HZ);

// Configuración del RTC DS1302
Rtc.Begin();
if (!Rtc.IsDateTimeValid()) {
    Serial.println("La hora no es válida. Configura el RTC.");
    Rtc.SetDateTime(RtcDateTime(__DATE__, __TIME__));
}

// Configuración de pines
pinMode(encendido1, OUTPUT);
pinMode(encendido, OUTPUT);
pinMode(gderecha, OUTPUT);
pinMode(gizquierda, OUTPUT);
pinMode(ventilador, OUTPUT);

// Relés iniciales apagados
digitalWrite(encendido1, HIGH);
digitalWrite(encendido, HIGH);
digitalWrite(gderecha, HIGH);
digitalWrite(gizquierda, HIGH);
digitalWrite(ventilador, LOW);
pinMode(DE_RE_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(DE_RE_PIN, LOW); // Iniciar en modo recepción

Serial.println("Iniciando comunicación Modbus...");

// Configuración UART para RS485
Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD_PIN, TXD_PIN);

// Inicializar Modbus
node.begin(1, Serial2); // Dirección Modbus 1, usando Serial2
node.preTransmission(preTransmission);
node.postTransmission(postTransmission);

```

```

Serial.println("Configuración completa.");
Serial.println("Configuración completa.");
// Leer la hora actual
RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();
printDateTime(now);

// Control de posición basado en la hora
if (now.Hour() >= 13 && now.Hour() <= 18) {
    digitalWrite(encendido, LOW);
    digitalWrite(gizquierda, LOW);
    delay(14000);
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);
    delay(600);
}
if (now.Hour() >=11 && now.Hour() < 13) {

    digitalWrite(encendido1, LOW);
    digitalWrite(gderecha, LOW);
    delay(14000);
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);
    delay(600);
    digitalWrite(encendido, LOW);
    digitalWrite(gizquierda, LOW);
    delay(6000);
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);

}

if (now.Hour() >= 6 && now.Hour() <= 10) {
    digitalWrite(encendido1, LOW);

```



```

digitalWrite(gderecha, LOW);
delay(14000);
digitalWrite(encendido1, HIGH);
digitalWrite(encendido, HIGH);
digitalWrite(gderecha, HIGH);
digitalWrite(gizquierda, HIGH);
delay(600);
}

}

void loop() {
    // Relés iniciales apagados líneas principales no eliminar nunca
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);
    digitalWrite(ventilador, LOW);
    // Asegurar conexión MQTT
    if (!mqtt.connected()) {
        reconnectMQTT();
    }
    mqtt.processPackets(10);
    mqtt.ping();

    // Leer la hora actual
    RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();
    printDateTime(now);

    // Variables de control según el RTC
    bool senddat = (now.Hour() >= 6 && now.Hour() < 18) && (now.Minute() % 1 == 0 && now.Second() >= 50 &&
        now.Second() <= 55);
    bool recet = (now.Hour() >= 6 && now.Hour() < 18) && (now.Hour() % 1 == 0 && now.Minute() == 50 &&
        now.Second() == 0);

    // Reiniciar ESP32 si es necesario
    if (recet) {
        ESP.restart();
    }
}

```

```

}

// Enviar datos de sensores a Adafruit IO
if (senddat) {
    // Leer temperatura
    DS18B20.requestTemperatures();
    float tem = DS18B20.getTempCByIndex(0);
    Serial.print("La temperatura es:");
    Serial.println(tem);
    if (!temperatureFeed.publish(tem)) {
        Serial.println(F("Error al publicar temperatura"));
    }

    // Leer y calcular ángulo Pitch
    static unsigned long lastTime = 0;
    unsigned long currentTime = millis();
    dt = (currentTime - lastTime) / 1000.0;
    lastTime = currentTime;

    sensors_event_t a, g, temp;
    mpu.getEvent(&a, &g, &temp);

    if (isnan(a.acceleration.x) || isnan(a.acceleration.y) || isnan(a.acceleration.z) ||
        isnan(g.gyro.y)) {
        Serial.println("Error leyendo datos del sensor");
        return;
    }

    float accelPitch = atan2(-a.acceleration.x,
                            sqrt(pow(a.acceleration.y, 2) + pow(a.acceleration.z, 2))) * 180.0 / PI;
    float gyroPitchRate = g.gyro.y * 180.0 / PI;
    float gyroPitch = pitch + gyroPitchRate * dt;

    pitch = (alpha * gyroPitch + (1.0 - alpha) * accelPitch)*(-1);
    Serial.print("La inclinacion es:");
    Serial.println(pitch);
    if (!pitchFeed.publish(pitch)) {
        Serial.println(F("Error al publicar pitch"));
    }

    // Leer y enviar irradiancia
    Serial.println("Leyendo datos del sensor...");
}

```

```

uint8_t result;
uint16_t irradiancia;

// Solicitar datos al registro específico del sensor (por ejemplo, registro 0x0000)
result = node.readInputRegisters(0x0000, 1);

if (result == node.ku8MBSuccess) {
    irradiancia = node.getResponseBuffer(0); // Obtener datos del registro
    float irradianciaWm2 = irradiancia * 0.5; // Calibrar según especificación del sensor
    Serial.print("Irradiancia: ");
    Serial.print(irradianciaWm2);
    Serial.println(" W/m²");

    // Enviar irradiancia a Adafruit IO
    if (!irradianciaFeed.publish(irradianciaWm2)) {
        Serial.println(F("Error al publicar irradiancia"));
    }

    // Validar el rango
    if (irradianciaWm2 < 0 || irradianciaWm2 > 2000) {
        Serial.println("Advertencia: Irradiancia fuera de rango.");
    }
} else {
    Serial.print("Error de comunicación Modbus. Código: ");
    Serial.println(result);
}

}

// Control del ventilador
bool fan = (now.Hour() >= 6 && now.Hour() < 18) && (now.Minute() >= 0 && now.Minute() <= 15);
digitalWrite(ventilador, fan ? HIGH : LOW);

// Control de posición basado en la hora
if ((now.Hour() == 10 && now.Minute() == 59 && (now.Second() >= 50 && now.Second() <= 55)) ||
    (now.Hour() == 12 && now.Minute() == 59 && (now.Second() >= 50 && now.Second() <= 55))) {
    digitalWrite(encendido, LOW);
    digitalWrite(gizquierda, LOW);
    delay(7000);
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
}

```

```

    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);
    delay(600);
}

if (now.Hour() == 17 && now.Minute() == 59 && (now.Second() >= 44 && now.Second() <= 55)) {
    digitalWrite(encendido1, LOW);
    digitalWrite(gderecha, LOW);
    delay(14000);
    digitalWrite(encendido1, HIGH);
    digitalWrite(encendido, HIGH);
    digitalWrite(gderecha, HIGH);
    digitalWrite(gizquierda, HIGH);
    delay(600);
}

delay(1000);
}

void reconnectMQTT() {
    while (!mqtt.connected()) {
        Serial.print("Conectando a Adafruit IO...");
        if (mqtt.connect()) {
            Serial.println("Conectado!");
        } else {
            Serial.println("Error al conectar, reintentando...");
            delay(5000);
        }
    }
}

void printDateTime(const RtcDateTime& dt) {
    char datestring[20];
    snprintf_P(datestring,
        sizeof(datestring),
        PSTR("%02u/%02u/%04u %02u:%02u:%02u"),
        dt.Month(),
        dt.Day(),
        dt.Year(),
        dt.Hour(),
        dt.Minute(),

```

```

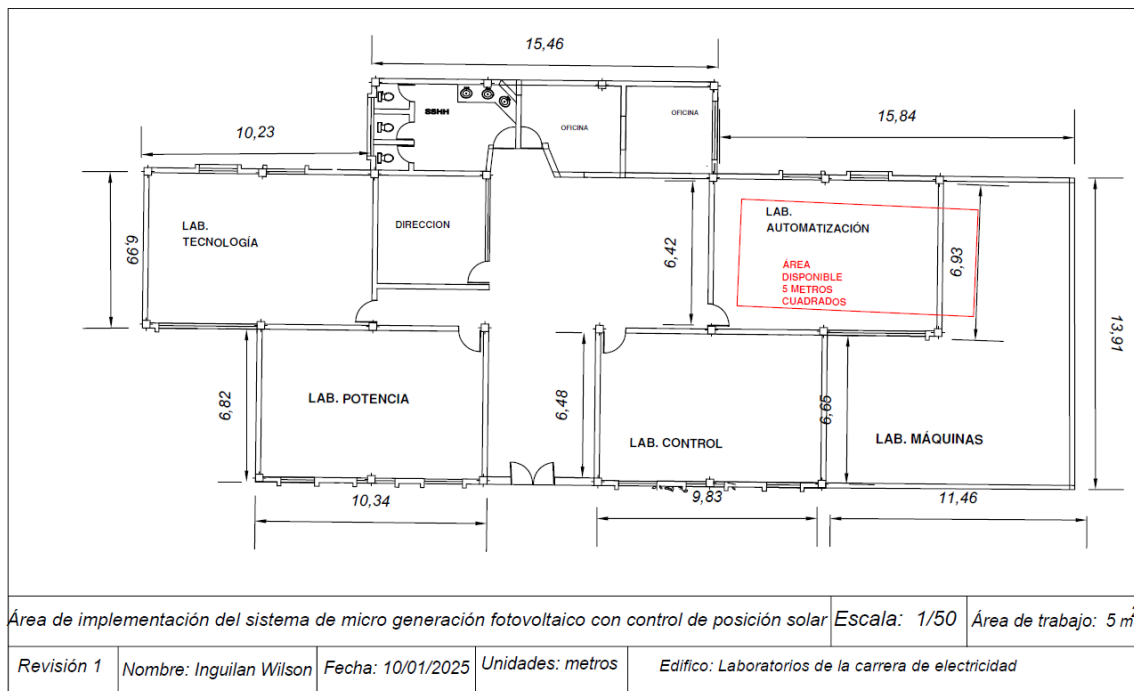
dt.Second() );
Serial.println(datestring);
}

```

Anexo B: Mediante el siguiente enlace se puede acceder a los datos del archivo tipo Excel: [Anexos Tesis PV](#)

| Hora     | Irradiación | Posición | Temperatu | Voltaje AC | Corriente | Potencia A | VoltajeF | Corrientef | PotenciaF | VoltajeCP | CorrienteCP | PotenciaCP |
|----------|-------------|----------|-----------|------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|-----------|-------------|------------|
| 12:00:00 | 214         | 0        | 30,88     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,42    | 6,48       | 391,52    | 59,96     | 5,8         | 347,77     |
| 12:01:00 | 240         | 0        | 31,16     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,32    | 6,66       | 401,73    | 60,11     | 5,9         | 354,65     |
| 12:02:00 | 200         | 0        | 31,55     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,21    | 6,57       | 395,58    | 61,74     | 5,69        | 351,30     |
| 12:03:00 | 220         | 0        | 32,01     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,58    | 6,37       | 385,89    | 62,32     | 5,77        | 359,59     |
| 12:04:00 | 325         | 0        | 32,25     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,42    | 6,27       | 378,83    | 61,89     | 5,67        | 350,92     |
| 12:05:00 | 220         | 0        | 32,09     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 60,36    | 6,01       | 362,76    | 60,69     | 6,02        | 365,35     |
| 12:06:00 | 213         | 0        | 32,21     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 61,83    | 6,11       | 377,78    | 60,2      | 6,09        | 366,62     |
| 12:07:00 | 240         | 0        | 31,95     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 61,84    | 6,07       | 375,37    | 59,75     | 6,06        | 362,09     |
| 12:08:00 | 270         | 0        | 31,87     | 119,3      | 1,42      | 169,406    | 62,64    | 5,78       | 362,06    | 60,32     | 5,83        | 351,67     |
| 12:09:00 | 235         | 0        | 31,55     | 119,3      | 1,1       | 131,23     | 62,38    | 6,02       | 375,53    | 59,77     | 5,98        | 357,42     |
| 12:10:00 | 215         | 0        | 31,26     | 119,3      | 1,1       | 131,23     | 62,48    | 6,43       | 401,75    | 53,08     | 6,04        | 320,60     |
| 12:11:00 | 240         | 0        | 31,08     | 119,3      | 1,1       | 131,23     | 61,77    | 5,98       | 369,38    | 54,45     | 5,98        | 325,61     |
| 12:12:00 | 225         | 0        | 31,01     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 61,62    | 6,33       | 390,05    | 52,05     | 6,02        | 313,34     |
| 12:13:00 | 215         | 0        | 29,88     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,63    | 5,23       | 317,09    | 59,52     | 5,18        | 308,31     |
| 12:14:00 | 198         | 0        | 29,79     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,87    | 1,65       | 100,44    | 59,76     | 1,96        | 117,13     |
| 12:15:00 | 215         | 0        | 29,75     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,61    | 1,54       | 93,34     | 65,59     | 1,92        | 125,93     |
| 12:16:00 | 200         | 0        | 29,56     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,42    | 1,48       | 89,42     | 65,25     | 1,56        | 101,79     |
| 12:17:00 | 270         | 0        | 29,45     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,43    | 1,45       | 87,62     | 65,71     | 1,82        | 119,59     |
| 12:18:00 | 240         | 0        | 29,33     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,88    | 1,44       | 87,67     | 65,61     | 1,81        | 118,75     |
| 12:19:00 | 285         | 0        | 29,11     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,69    | 1,36       | 82,54     | 65,58     | 1,78        | 116,73     |
| 12:20:00 | 245         | 0        | 28,89     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,43    | 1,41       | 85,21     | 65,61     | 1,69        | 110,88     |
| 12:21:00 | 261         | 0        | 28,51     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,42    | 1,33       | 80,36     | 65,8      | 1,66        | 109,23     |
| 12:22:00 | 218         | 0        | 28,38     | 119,3      | 0,01      | 1,193      | 60,59    | 1,2        | 72,71     | 65,89     | 1,74        | 114,65     |

Anexo C: Mediante el siguiente enlace se puede acceder al plano del área de implementación y los diagramas realizados en AutoCAD: [Anexos Tesis PV](#)



# Wilson Inguilan

## TESIS (FINAL).docx

 Universidad Tecnica del Norte

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::21463:416555844

Fecha de entrega

16 dic 2024, 10:22 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 dic 2024, 10:40 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS (FINAL).docx

Tamaño de archivo

9.1 MB

83 Páginas

16,435 Palabras

92,494 Caracteres




## 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe


- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**  
553 caracteres sospechosos en N.º de página  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.