

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO DE
LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN LAS
CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN-CAUCA**

**ANA MARIA ZUÑIGA MUÑOZ
JHON SEBASTIAN VARGAS RADA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE HUMANIDADES, ARTES, CIENCIAS SOCIALES Y DE LA
EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
POPAYÁN- CAUCA
2023**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO DE LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN LAS
CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN-CAUCA**

**ANA MARIA ZUÑIGA MUÑOZ
JHON SEBASTIAN VARGAS RADA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

Msc. JHON ALEXANDER GUERRERO NARVAEZ

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE HUMANIDADES, ARTES, CIENCIAS SOCIALES Y DE LA
EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
POPAYÁN CAUCA
2023**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

1. CONTENIDO

1. CONTENIDO	4
2. LISTA DE TABLAS	7
3. LISTA DE FIGURAS	8
4. RESUMEN.....	9
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
6. JUSTIFICACIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE CELDAS SOLARES H.....	18
7.2 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC)	18
7.3 VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (VOC)	18
7.4 POTENCIA MÁXIMA (PMP)	19
7.5 FACTOR DE LLENADO (FF)	19
7.6 SENSOR DE CORRIENTE ACS712	20
7.7 SENSOR DE TEMPERATURA PT100 CON MAX31865.....	21
7.8 RADIACIÓN SOLAR	21
7.9 OTROS PARÁMETROS.....	23
8. MARCO DE REFERENCIA	27
8.1 ESTADO DEL ARTE	27
9. OBJETIVOS	31
9.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
10. METODOLOGIA	32

10.1	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA V-SHAPE	32
10.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	33
10.3	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA	33
10.4	SELECCIÓN DE SENSORES Y DISEÑO DE CIRCUITOS	33
10.5	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	33
10.5.1	<i>Elementos de captación fotovoltaica.....</i>	<i>33</i>
	<i>En esta etapa, se definen y describen cada uno de los elementos utilizados para formar la estación de medición.</i>	<i>33</i>
10.5.2	<i>Circuito de conexiones de elementos de captación fotovoltaica</i>	<i>33</i>
10.5.3	<i>Diseño de Circuito Electrónico para Impresión de PCB</i>	<i>33</i>
10.5.4	<i>Implementación del Circuito Electrónico</i>	<i>34</i>
10.5.5	<i>Activación de sensores.....</i>	<i>34</i>
10.5.6	<i>Calibración de sensores</i>	<i>34</i>
10.5.7	<i>Implementación del sistema solar y sistema de obtención de datos.....</i>	<i>34</i>
11.	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN	35
11.1	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA V-SHAPE	35
11.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	35
11.3	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA	38
11.4	SELECCIÓN DE SENSORES Y DISEÑO DE CIRCUITOS	41
11.5	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	46
11.5.1	<i>Elementos de captación fotovoltaica.....</i>	<i>46</i>
11.5.2	<i>Circuito de conexiones de elementos de captación fotovoltaica.</i>	<i>47</i>
11.5.3	<i>Diseño Circuito Electrónico para impresión de PCB</i>	<i>48</i>
11.5.4	<i>Implementación Circuito Electrónico</i>	<i>50</i>
11.5.5	<i>Activación de sensores.....</i>	<i>50</i>
11.5.6	<i>Calibración sensores</i>	<i>51</i>
11.5.7	<i>Implementación sistema solar y sistema de obtención de datos</i>	<i>53</i>
12.	OBTENCIÓN DE DATOS.....	57
13.	MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA	58

13.1	IRRADIANCIA, POTENCIA VS TIEMPO	62
13.2	POTENCIA, HUMEDAD VS TIEMPO	62
13.3	TEMPERATURA PANEL VS CORRIENTE.....	67
13.4	MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGETICA EN EL PANEL SOLAR	67
13.4.1	CALCULO FACTOR FORMA	67
13.4.2	EFICIENCIA.....	68
13.4.3	RENDIMIENTO SOLAR.....	69
13.5	MEDICIÓN DE VARIABLES CON CARGAS (BOMBILLOS).....	69
13.5.1	<i>POTENCIA, CORRIENTE VS TIEMPO.....</i>	<i>70</i>
13.5.2	<i>POTENCIA, VOLTAJE VS TIEMPO.....</i>	<i>71</i>
13.5.3	<i>TEMPERATURA, POTENCIA VS TIEMPO</i>	<i>72</i>
14.	CONCLUSIONES.....	73
15.	BIBLIOGRAFÍA	75
	ANEXOS	78

2. LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESTUDIOS DE ESTADO DEL ARTE	29
TABLA 2. SENSORES.....	41
TABLA 3. ELEMENTOS DEL PROYECTO	46

3. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Metodología de Diseño Mecatrónico fuente: internet.....	32
FIGURA 2. Aplicación Metodología de Diseño Mecatrónico fuente: propia.....	35
FIGURA 3. Primer Prototipo fuente: propia.....	36
FIGURA 4. Segundo Prototipo fuente: propia.....	36
FIGURA 5. Tercer Prototipo fuente: propia.....	37
FIGURA 6. Cuarto Prototipo fuente: propia.....	38
FIGURA 7. Arduino Nano fuente: internet.....	43
FIGURA 8. Circuito Simulado en Proteus fuente: propia.....	44
FIGURA 9. Diagrama de Flujo fuente: propia.....	44
FIGURA 10. Diseño de sistema de almacenamiento de datos fuente: propia.....	45
FIGURA 11. Plano Eléctrico Sistema Solar fuente: propia.....	48
FIGURA 12. Diagrama de Flujo para programación en Arduino fuente: propia.....	51
FIGURA 13. Radicaion Solar base de datos de la NASA fuente: propia.....	60
FIGURA 14. Radiación Solar Experimental fuente: propia.....	61
FIGURA 15. potencia e irradiancia en un tiempo determinado fuente: propia.....	63
FIGURA 16. Potencia e Irradiancia en el transcurso del día fuente: propia.....	64
FIGURA 17. Potencia y Humedad en el transcurso del día fuente: propia.....	65
FIGURA 18. Temperatura en el panel vs Corriente fuente: propia.....	66
FIGURA 19. Potencia, Corriente vs tiempo fuente: propia.....	70
FIGURA 20. Potencia, Voltaje vs Tiempo fuente: propia.....	71
FIGURA 21. Temperatura, Potencia vs Tiempo.....	72

4. RESUMEN

La demanda energética en Colombia y en el mundo tiene una relevancia importante en los sistemas energéticos, pues existe un gran crecimiento poblacional e industrial, necesitando consumo energético y trayendo consigo problemas económicos, sociales y ambientales. Una posible solución para disminuir los problemas como el efecto invernadero, impacto ambiental, escases de recursos fósiles, residuos nucleares entre otros causados por la generación eléctrica actual es el uso de la energía solar fotovoltaica, teniendo en cuenta que en Colombia este tipo de proyectos son regulados bajo los estatutos de la ley 1715 del 13 de Mayo de 2014 la cual tiene como objeto “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”, generando un entorno ideal para la implementación de estos sistemas, teniendo en cuenta el lugar geográfico donde se implementen; se espera que el incremento de energía sea de al menos 10% para considerarlos viables. En este estudio se desarrolló un sistema de medición de voltaje, corriente, temperatura ambiente, temperatura de panel y humedad, datos captados a través de sensores, procesados por un datalogger y controlados por software Arduino, para encontrar la eficiencia energética en la ciudad de Popayán-Colombia, con el objetivo de estimar la eficiencia de generación eléctrica, optimizar el consumo de energía e identificar su viabilidad en las condiciones ambientales de la ubicación geográfica de esta ciudad.

Aunque existen estudios similares, pocas investigaciones de este tipo se han llevado a cabo en la región. Este proyecto aplica metodología de diseño mecatrónico V-shape, el cual tiene presente

requerimientos electrónicos, eléctricos, mecánicos, diseño del sistema, modelado y análisis, diseño específico, integración del sistema, verificación, validación y producto.

PALABRAS CLAVE: Demanda energética, consumo energético, generación eléctrica, energía solar fotovoltaica. Metodología V-shape, eficiencia solar, irradiación solar

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el transcurso de la historia, el desarrollo económico de los países ha estado sustentado por la utilización y producción de energía a partir de fuentes convencionales como lo son la energía nuclear, hidroeléctrica, térmica y fósil. En la actualidad, mediante fuentes de energía renovables, se está impulsando el desarrollo socioeconómico de la humanidad y estableciendo al sector energético como un pilar fundamental en las diferentes actividades antrópicas.

En las últimas décadas, el incremento en los impactos ambientales ocasionados por la alta demanda de energía eléctrica, ha evidenciado una problemática de primera necesidad en los gobiernos de los países desarrollados y subdesarrollados, los cuales se han visto en la necesidad de implementar leyes, políticas y normativas energéticas con el objetivo de generar estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable, todo esto sin afectar de manera negativa la calidad de vida de los ciudadanos.

Dichas estrategias políticas y normativas, se encuentran alineadas dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS, específicamente en el objetivo siete, el cual busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, centrándose más en la meta 7.2, la cual indaga en aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas para el año 2030, y la 7.b que busca ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2015).

En Colombia, existen varias reglamentaciones y legislaciones que contribuyen de forma directa al ODS número 7, basándose en el desarrollo de acciones y estrategias desde el lado de las energías renovables, siendo la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, con las que el Gobierno Nacional impulsó la investigación en el uso racional de la energía a

través de Colciencias. Sin embargo, no fue sino hasta la aparición de la Ley 1715 del 2014 en la que se presentó un gran avance en el ámbito, debido a que esta ley fomenta la investigación, desarrollo e inversión en el entorno de la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, como la energía solar. La ley reglamenta la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional (Celsia, 2018). Además, Colombia se encuentra dentro de los países ecuatoriales los cuales cuentan con la ventaja de tener un buen recurso solar a lo largo del año ya que no experimentan el fenómeno de las estaciones (Gómez, Cabeza, & Murcia, 2017), como las fuentes disponibles indican, este (Colombia) posee un potencial de irradiación promedio de 4,5 KWh/m²/día (IDEAM, 2005), posicionándose así por encima del promedio mundial de 3,9 KWh/m²/día, y también, muy por encima del promedio recibido por Alemania de 3,0 KWh/m²/día, que, es el país que más uso hace de la energía solar fotovoltaica con aproximadamente 50GW de capacidad instalada (REN21, 2020).

A nivel regional se ha avanzado en este ámbito de las energías renovables gracias a diversos desarrollos que van desde producir el 5% de la energía eléctrica de un campus Universitario a través de Paneles Solares (La Guía Solar, 2015), hasta concientizar a comunidades y autoridades de su potencial energético, identificando con ayuda de estaciones meteorológicas, mapas energéticos e investigaciones en campo, y las características principales en lo referente a fuentes de energías alternativas existentes en diferentes regiones del departamento de Nariño (Udenar, 2016). En cuanto al departamento del Cauca, se han visto grandes iniciativas respecto a los Paneles Solares como energía alternativa, que buscan, por ejemplo, garantizar el servicio de electricidad de manera continua y limpia a una edificación dedicada al sector salud en Popayán (Proclama del Cauca, 2019), esta ciudad presenta condiciones aptas para la generación de energía a través de celdas solares, ya que cuenta con un clima templado, condiciones meteorológicas variables entre climas secos y lluvias, duración de brillo solar de 4 a 5 horas y una radiación de 3,5 a 4,0 KWh/m² (IDEAM, 2005).

Teniendo en cuenta el panorama antes descrito, se evidencia que se han logrado desarrollos importantes en la generación de energía eléctrica mediante Paneles Solares como fuente energética alternativa. Han surgido propuestas encaminadas al desarrollo de dispositivos y equipos destinados a medir el consumo y monitoreo del rendimiento energético de estos sistemas. Estas soluciones pretenden ofrecer respuestas tanto a los generadores como a los distribuidores y comercializadores de energía.

Un ejemplo de estos avances es la implementación de Smart Grids (Redes eléctricas inteligentes), que representan una evolución tecnológica frente a la red eléctrica convencional. Las Smart Grids permiten un control y supervisión más eficiente de las variables energéticas, facilitando la conexión segura y efectiva de los recursos energéticos distribuidos. Esto a su vez mejora la gestión y eficacia en la administración de la energía eléctrica (Gómez, Hernández, & Rivas, 2018); esto evidencia la importancia de un sistema de monitoreo energético en Paneles Solares los cuales son una de las fuentes energéticas alternativas más crecientes en los últimos años, generando así, una oportunidad de desarrollo tecnológico e impacto social, dado que su elevado precio limita la accesibilidad de productos tecnológicos orientados a la medición y monitoreo de la eficiencia de Paneles solares a nivel regional, que brinden una herramienta tecnológica que permita arrojar información en tiempo real de las condiciones ambientales y los factores que nos dan el indicio de una generación de energía limpia.

Esto evidencia la importancia de un sistema de monitoreo energético en Paneles Solares los cuales son una de las fuentes energéticas alternativas más crecientes en los últimos años, generando así, una oportunidad de desarrollo tecnológico e impacto social. Debido a la mínima oferta de productos tecnológicos orientados a la medición y monitoreo de la eficiencia de Paneles solares a nivel regional, se busca brindar una herramienta tecnológica que permita arrojar información en tiempo real de las condiciones

ambientales, la eficiencia energética del panel y un porcentaje de funcionamiento de los mismos en cuanto a generación eléctrica.

Reconociendo las ventajas en la medición de la eficiencia energética, el monitoreo de Paneles Solares y el poco desarrollo orientado a esta temática en la región, se presenta la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo medir la eficiencia energética de Paneles Fotovoltaicos respecto a las condiciones ambientales en la ciudad de Popayán-Colombia?

6. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, el incremento en los impactos ambientales ocasionados por la alta demanda de energía eléctrica, ha evidenciado una problemática de primera necesidad en los gobiernos de los países desarrollados y subdesarrollados, los cuales se han visto en la necesidad de implementar energías renovables para mitigar esta problemática, sin afectar la calidad de vida de los humanos e incorporar medidas, diseñadas y orientadas a la minimización de consumos y ahorro energético, contribuyendo a la creación de conciencia energética y ambiental a nivel mundial. En Colombia, Mediante la Ley 697 de 2001, se declaró asunto de interés social, público y de conveniencia nacional el uso racional y eficiente de la energía, así como el uso de fuentes energéticas no convencionales. En 2003 se expidió el Decreto 3683, que reglamentó los objetivos propuestos por la ley en materia de uso racional de energía. (OLADE, 2017)

Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se estimaba que para el año 2015 el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles y el 19% de fuentes renovables. Estas últimas se encuentran asociadas principalmente con el uso tradicional de la biomasa, la hidroenergía y a menor escala la energía proveniente de fuentes como el sol y la geotérmica, seguidas de fuentes como la eólica y la energía marina para la generación de energía eléctrica (UPME, 2015).

En Colombia, las estadísticas proporcionadas por la UPME muestran que: El 88,3% de las iniciativas presentadas están relacionadas con la energía solar, lo que demuestra el interés por esta fuente de energía. Muestra que nueve de cada diez propuestas de generación eléctrica se basan en el uso de paneles solares, un aumento del 32% de julio a noviembre de 2017. Este aumento sugiere que esta tendencia continuará, especialmente cuando las regulaciones entren en vigor. Establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para uso de energía no convencional. Tanto la UPME como el Ministerio de Minas y Energía pronostican que hacia 2030, alrededor de 10% del consumo energético en Colombia serán producidos por

proyectos fotovoltaicos o solares, lo que resalta un paso importante hacia la diversificación y sostenibilidad de la matriz energética. En los sistemas fotovoltaicos, es fundamental medir la eficiencia de los paneles solares para optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad (OLADE, 2017). Incorporar medidas de eficiencia energética tiene un impacto directo en el ahorro, el consumo y en los ingresos trayendo beneficios para todos, generalmente, en Colombia, no existe una cultura de ahorro energético, eficiencia energética y hábitos de uso, en detrimento de la sostenibilidad ambiental y energética. El desconocimiento de la importancia de los hábitos y consumos energéticos desde el aspecto de los usuarios finales, específicamente en el hogar, constituye una causa importante del uso ineficiente del recurso energético. El conocimiento sobre las capacidades energéticas de los recursos renovables puede constituir un punto de partida fundamental para la conciencia del gasto energético en el usuario final.

Sumado a lo anterior, es importante señalar que a pesar de las perspectivas de políticas, leyes y decretos generados para dar cumplimiento a lo establecido global, nacional y localmente, la realidad general de las cifras arrojadas en consumo energético en los estudios de UPME y el Ministerio de Minas y Energía, reflejan que las cosas no se están realizando como debe ser, posiblemente porque las soluciones y medidas, están encaminadas a nivel macro y no se brindan las herramientas tecnológicas accesibles a las personas del común, específicamente del sector domiciliario. Por lo anterior, acciones encaminadas a incentivar de una manera sencilla, eficiente y clara la medición de los consumos energéticos y hábitos de uso, podrá contribuir a la sensibilización de la cultura energética, ambiental y la generación de resultados de mejora en el consumo energético Nacional, todo esto alineado al cumplimiento del programa de uso racional y eficiente de energía del MinMinas y la UPME. (MME & UPME, 2016)

7. MARCO TEÓRICO

La demanda energética tiene una fuerte relación con el crecimiento poblacional y la industrialización a nivel mundial, por esta razón se espera que en un futuro próximo la demanda de energía aumente. Este aumento en la demanda de energía requiere que las empresas eléctricas incrementen su generación. Estudios de años anteriores pronosticaron que se espera que la generación neta de electricidad en el mundo aumente de 17,3 billones de kilovatios hora en 2005 a 24,4 billones de kilovatios-hora (un aumento del 41%) en 2015 y 33,3 billones de kilovatios-hora (un aumento del 92,5%) en 2030 (EIA, 2020).

El uso de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad comenzó en los años setenta del siglo XX y actualmente está creciendo rápidamente en todo el mundo. De hecho, muchas organizaciones esperan un futuro brillante para estos sistemas. Por ejemplo, la Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea (EPIA) espera que la capacidad fotovoltaica acumulada global alcance los 200 GW para el año 2020 y los 800 GW para el año 2030. Colombia no es ajeno a este proceso y según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2015) y el Ministerio de Minas y Energía se estima que para antes de 2030 cerca de 10% del consumo energético en Colombia provenga de proyectos fotovoltaicos o solares (Táutica, et al., 2013)

Los sistemas fotovoltaicos se utilizan generalmente en tres campos principales: 1) aplicaciones de satélite, donde los paneles solares proporcionan energía a los satélites, 2) aplicaciones fuera de la red, donde los paneles solares se utilizan para alimentar cargas remotas que no están conectadas a la red eléctrica, y 3) aplicaciones en la red, o conectadas a la red, en las que los paneles solares se utilizan para suministrar energía a las cargas

locales, así como a la red eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red dominan actualmente el mercado fotovoltaico, especialmente en Europa, Japón y EE. UU.

7.1 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE CELDAS SOLARES H

La eficiencia de conversión de una celda solar típica es la relación entre la potencia de salida máxima generada y la potencia de entrada o incidente. Ciertos parámetros de salida influyen en gran medida en la eficiencia de una celda solar y se definen de la siguiente manera, *formula 1*. (Martin)

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

7.2 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC)

Es la corriente que fluye a través del circuito externo cuando los electrodos de una celda solar están en cortocircuito. La corriente de cortocircuito depende de la densidad del flujo de fotones incidentes y del espectro de la luz incidente. Para una celda solar ideal, $I_{sc} = I_{photon}$. Y esta es la capacidad máxima de suministro de corriente de la celda solar en cualquier caso (Green, 2000).

7.3 VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (VOC)

El voltaje de circuito abierto es el voltaje al que no fluye corriente a través del circuito externo; es decir, cuando los terminales de la celda solar están abiertos o no conectados a una carga. Es el voltaje máximo que una celda solar puede entregar bajo cualquier iluminación dada (Henry, 2013). Un V_{oc} de celda de unión PN ideal se modela con la siguiente ecuación:

$$V_{oc} = \frac{KbT}{q} \left(\frac{I_{photon}}{I_o} + 1 \right) \quad (2)$$

A partir de esta ecuación, el V_{oc} es igual a la división entre K_b que es la constante de Boltzmann con T temperatura en kelvin y q (carga de un electrón), donde también depende de la densidad de corriente I_{photon} y la corriente de saturación I_o . Además, dado que la corriente de saturación depende en gran medida de la recombinación en la celda solar, el voltaje de circuito abierto es una medida de la recombinación en el dispositivo.

7.4 POTENCIA MÁXIMA (PMP)

La corriente y el voltaje máximos de una celda se deben determinar mediante las curvas características de cada una de las celdas solares. La potencia máxima es el área del producto de la corriente máxima I_{mp} y el voltaje V_{mp} como se muestra en la ecuación (2).

$$P_{mp} = V_{mp} * I_{mp} \quad (3)$$

7.5 FACTOR DE LLENADO (FF)

El factor de llenado FF es la relación entre la potencia máxima (P_{MP}) generada por la celda solar y el producto del voltaje en circuito abierto V_{oc} y la corriente de cortocircuito I_{sc} .

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (4)$$

A partir del conjunto de ecuaciones anterior, definimos la eficiencia de conversión de la celda solar η como la relación entre la potencia máxima generada ($P_{MP} = V_{mp} * I_{mp}$) y la potencia de entrada o incidente como se indica en la ecuación (5).

$$\eta = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_{in}} \quad (5)$$

P_{in} es la potencia total de entrada de la celda solar. La eficiencia de conversión de energía de las celdas solares disponibles comercialmente se encuentra normalmente entre el 10 y el 25% (Henry, 2013). Estos tres parámetros importantes (V_{oc} , I_{sc} y FF) como se describen anteriormente, son los factores más importantes que determinan qué tan eficiente es una celda solar y están optimizados para un diseño de celda solar eficiente.

7.6 SENSOR DE CORRIENTE ACS712

Sensor de corriente lineal que permite medir corriente de -30 A a 30 A. Este sensor tiene un voltaje de alimentación de 5V, trabaja con un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético que sale del paso de la corriente y esa corriente la convierte en un voltaje variable lo cual hace directamente proporcional la salida de voltaje con la entrada de corriente.

El sensor nos arroja por defecto un valor de 2.5V para una corriente de 0 A y desde ese voltaje se parte para incrementar proporcionalmente con la corriente teniendo en cuenta la sensibilidad que está dada por el fabricante en las especificaciones del modelo.

Dado que hay ocasiones donde se pueden tener errores en las medidas se recomienda recalibrar y para realizarlo se debe de tener en cuenta la relación de salida entre la corriente y el voltaje.

$$v = ml + 2.5 \quad (6)$$

Donde m es la pendiente y equivale a la sensibilidad del sensor. Y la ecuación que usamos para calcular la corriente

$$I = \frac{v - 2.5}{sensibilidad} \quad (7)$$

En la ecuación se tienen dos valores constantes que es el voltaje del sensor cuando la corriente es 0 y la sensibilidad del sensor que son 66 mv/A. por ser una recta al obtener dos valores podemos calcular constantes, para ello se utiliza un amperímetro en serie y en circuito abierto.

7.7 SENSOR DE TEMPERATURA PT100 CON MAX31865

Sensor de temperatura PT100 es una resistencia de 100 ohm que al aumentar su temperatura aumenta su resistencia eléctrica. En un extremo tiene el sensor recubierto por aluminio y en el otro extremo los terminales de los cables. Las termocuplas de 3 hilos son las más comunes y utilizadas en el medio industrial, los sensores de 3 hilos deben de tener la misma resistencia eléctrica en los cables y su sistema de medición se basa en el conocido puente de Wheatstone, que para ello se usa el módulo Max31865 que hace su vez de conversor análogo a digital para la lectura de sus datos por un microcontrolador el Max31865 tiene un conversor ADC con una resolución de 15 bits, usa un protocolo de comunicación SPI para trabajar con placas de Arduino o PIC.

7.8 Radiación Solar

La radiación solar, como se ha mencionado previamente, es la energía emitida por el Sol y se propaga a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta radiación solar es generada en el núcleo del Sol a través de reacciones de fusión nuclear del hidrógeno y es emitida por la superficie solar.

Es importante destacar que la radiación solar desempeña un papel fundamental en la dinámica de los procesos atmosféricos y en la determinación del clima. Por lo tanto, medir la radiación solar se vuelve crucial en una amplia gama de aplicaciones en diferentes áreas, como la ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología.

Dentro de estas áreas, se destaca su utilización como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad, entre otras aplicaciones. La medición precisa de la radiación solar permite evaluar su disponibilidad y potencial en diferentes ubicaciones geográficas, lo que resulta fundamental para la implementación de sistemas de energía solar y la toma de decisiones relacionadas con proyectos de energías renovables.

Es importante tener en cuenta que la radiación solar, al atravesar la atmósfera, se ve afectada por diversos procesos que debilitan su intensidad. Estos procesos incluyen la dispersión causada por los aerosoles presentes en la atmósfera, la reflexión por parte de las nubes y la absorción por parte de moléculas de gases y partículas en suspensión.

Como resultado de estos procesos, la radiación solar que llega a la superficie terrestre, ya sea océano o continente, es menor que la radiación solar en el tope de la atmósfera. La cantidad de radiación reflejada o absorbida depende de la longitud de onda de la energía transmitida y de las características de las sustancias presentes en la atmósfera. Además, tanto la superficie terrestre, incluyendo suelos y océanos, como la atmósfera misma, tienen la capacidad de absorber energía solar y re-emitirla en forma de calor en todas las direcciones.

Radiación directa, difusa y reflejada

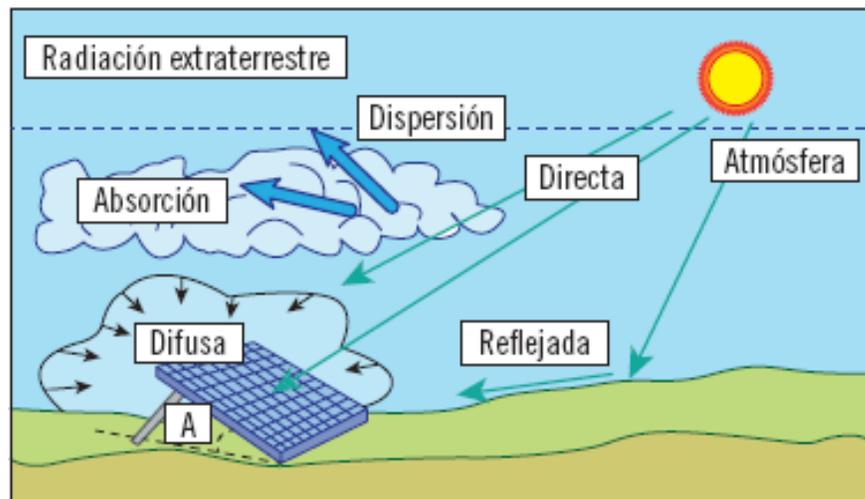


Ilustración 1. Dispersión, Reflexión y Absorción de luz fuente: IDEAM

El área amarilla (ilustración 2) representa la solución ideal de la ley de plank de la radiación solar que llega al tope de la atmósfera, en esta el punto más alto de la curva representa la longitud

de onda con la mayor energía espectral ($0,5\mu\text{m}$, equivalente a 500 nm) de acuerdo con la ley de wien y el área bajo la curva representa la cantidad total de energía recibida (1.367 w/m^2). finalmente, el área roja constituye el espectro figura 18. energía radiada por el sol y la tierra. infrarrojo microondas (radar) unidades ultravioleta fuente: enviv4.5. 3. aspectos teóricos atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia 33 de la radiación solar a nivel marino para condiciones de cielo claro, después de la absorción atmosférica debida a diferentes gases. (HENRY OSWALDO BENAVIDES BALLESTEROS)

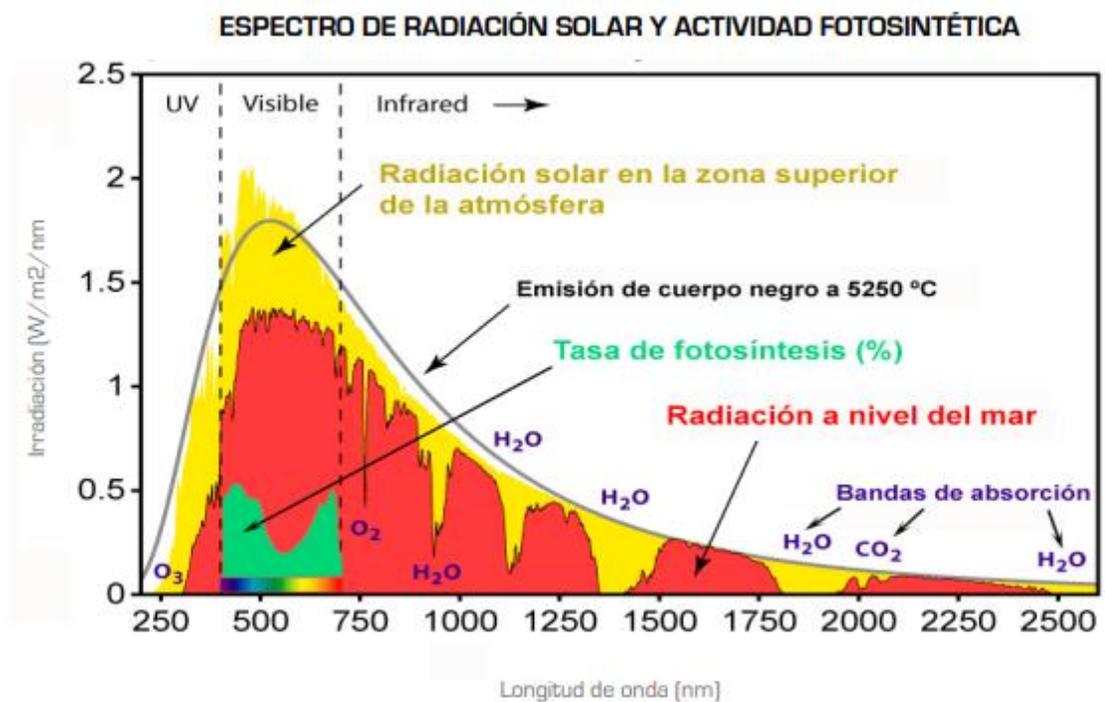


Ilustración 2. Espectro de Radición Solar fuente: IDEAM

7.9 OTROS PARÁMETROS

Los parámetros que se muestran a continuación tienen la función de observar el comportamiento de los paneles en diferentes circunstancias con temperatura de celda variable e irradiancia constante. (Martin)

Temperatura de la celda:

$$T_{\text{celda}} = T_{\text{ambiente}} + ((T_{\text{nominal de operación celda NOTC}} - T_{\text{ambiente prueba NOTC}}) * \left(\frac{E_{\text{sitio}}}{E_{\text{NOCT}}}\right)) \quad (\text{Martin}) \quad (8)$$

Variación de potencia:

$$\Delta P_m(\%) = \text{coeficiente tem} \left(\% \frac{P_m}{^\circ\text{C}}\right) * \Delta T_{\text{Temperatura}} \quad (\text{Martin}) \quad (9)$$

Variación de voltaje en corto circuito:

$$\Delta V_{oc} \text{ o } V_{mp}(\%) = \text{coeficiente tem} \left(\% \frac{V_{oc}}{^\circ\text{C}}\right) * \Delta T_{\text{Temperatura}} \quad (\text{Martin}) \quad (10)$$

Variación de corriente:

$$\Delta I_{sc} \text{ o } I_{mp}(\%) = \text{coeficiente tem} \left(\% \frac{I_{sc}}{^\circ\text{C}}\right) * \Delta T_{\text{Temperatura}} \quad (\text{Martin}) \quad (11)$$

Variación de temperatura:

$$T_{\text{temperatura}} = T_{\text{temperatura celda en sitio}} - T_{\text{temperatura celda STC}} \quad (\text{Martin}) \quad (12)$$

Donde:

La temperatura **STC** (Standart Test Condition), son las condiciones en las cuales son probados los paneles solares para aprovechar su potencia máxima, dichas condiciones están expresadas en los siguientes valores: irradiancia 1000 W/m², temperatura del panel 25°C, masa de aire 1.5.

TONC: es la temperatura de operacional nominal de las celdas, comprendida como la temperatura que llegan a experimentar las celdas solares cuando se somete el panel a temperaturas ambiente de 20°C, irradiancia de 800 W/m², masas de aire de 1.5 y velocidades de viento de 1m/s.

Algunos de los términos más utilizados, tienen un significado que nos ayudaran a mejorar la comprensión de la información:

Irradiancia: es una medida de la potencia radiante que incide en una superficie por unidad de área. Es una cantidad que describe la densidad de flujo de energía radiante que llega a una superficie en un determinado intervalo de tiempo. Sus unidades están dadas en w/m².

Irradiación: Es la radiación electromagnética, en forma de luz y calor, que proviene del Sol y llega a nuestro planeta e incide durante determinado tiempo sobre un lugar. Sus unidades están dadas por (kW/m²).

Celda Solar: Los **paneles solares** son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad. Están formados por celdas solares que a su vez contienen células solares individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo) que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

Policristalinos: Un policristal o material policristalino es un agregado de pequeños cristales de cualquier sustancia, a los cuales, por su forma irregular, a menudo se les denomina cristalitas.

Muchos materiales de origen tanto natural (minerales y metales) como sintético (metales, aleaciones, cerámica, etcétera) son policristales.

Los paneles solares policristalinos suelen tener una menor eficiencia que los monocristalinos (SOTYSOLAR, 2023), por no tratarse de células compuestas de un solo cristal, sino de muchos, por lo que los electrones tienen mayor dificultad para fluir.

Celda Solar POWEST: Los paneles fotovoltaicos POWEST policristalinos son ideales para su uso en plantas de energía a gran escala, comerciales e instalaciones residenciales.

Conexión Paralelo: Una conexión de resistencias o cargas eléctricas en paralelo, se caracteriza por que los extremos de las resistencias van unidos a un mismo punto, lo que hace que el voltaje en todas ellas sea el mismo

Datalogger: Un registrador de datos (datalogger) es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.

Arduino: es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla.

8. MARCO DE REFERENCIA

8.1 ESTADO DEL ARTE

Tomando como base las siguientes investigaciones donde se analizaron diferentes métodos para la medición de la eficiencia energética en paneles solares, se puede saber cuánta potencia brinda el panel solar respecto a la inclinación en grados en los se ubiquen el sistema de celdas y su posición respecto a la orientación hacia el sol. Así mismo influye el material que lo componen el cual puede ser monocristalino o policristalino , tal como lo demuestra el artículo realizado por Izquierdo y Portilla (2017) en el cual realizaron una investigación del desempeño energético de paneles solares monocristalinos variando su orientación e inclinación en concordancia a configuraciones frecuentes de techumbres en edificaciones del Centro Histórico de Cuenca-Ecuador, en la investigación se calculan las eficiencias promedio expresadas en porcentajes, utilizando la ecuación de voltaje en circuito abierto (2), como resultado y conclusión expresan que la mejor configuración que pueden adoptar los paneles es aquella orientada hacia el este, exactamente a 14° donde se supera el desempeño energético en aproximadamente un 18.2 % sobre las demás configuraciones.

Así mismo evaluaron el efecto de la acumulación de suciedad sobre paneles, estimando que la pérdida en el desempeño de los paneles solares monocristalinos para la ciudad de Cuenca en áreas cercanas al Centro Histórico, tiene un valor promedio de 0.7 % a los siete días de acumulación de suciedad con precipitaciones inferiores a los 6 mm, y un valor promedio de 2.77 % para un periodo de 14 días en donde los primeros siete días tienen precipitaciones cercanas a los 6 mm, y los siete posteriores no presentan precipitación.

Otro proyecto similar se encuentra en (Torres-Marquez, Rojas-Montano , & Puñuela-Pardo, 2016) donde se midió la energía transformada por un panel fotovoltaico ajustado a un seguidor de sol en donde se hizo la comparación de la eficiencia cuando el panel se encuentra en estado estático y cuando el seguidor de sol se encuentra en estado de movimiento, logrando un diseño de un prototipo capaz de orientar cuatro paneles fotovoltaicos de referencia de fabricante: A12V2.4W en dirección perpendicular a la incidencia del sol, con lo cual obtuvieron que el panel tiene una eficiencia del 16% generando cada uno de estos 12 V y 200 mA.

En otras investigaciones con el fin de evaluar la eficiencia energética en la conversión de la energía luminosa a energía eléctrica se encuentran distintas formas de medición. En la investigación realizada por (Almanza-Fundora, Garcia-Fernandez, & García-Reina, 2019) (2019) se desarrolla un sistema midiendo la energía eléctrica en la fotocélula y teniendo en cuenta el área de la celda solar, donde determinan la eficiencia mediante la fórmula (13) , obteniendo que la eficiencia convertida en energía eléctrica es del 12,4%.

$$\eta_{celdaj} = \frac{P_{EleCej}}{E_{Celdaj} A_{Celdaj}} * 10^3 \quad 3)$$

En comparación de la tesis de (Flores-Rivera & Dominguez-Ramirez, 2016) quienes realizaron la medición de la eficiencia energética de la siguiente manera: medición de la potencia medida dividida entre el área del panel solar, como resultado se obtiene la energía captada la cual a su vez es dividida entre el dato que genera el solarímetro y multiplicada por 100 para tener una eficiencia en porcentaje. Como respuesta se obtiene que en días nublados la eficiencia para un sistema móvil y un sistema fijo es muy similar, y es debido a que a ambos solo les llega radiación difusa y no directa.

Cabe resaltar que la trayectoria del sol no está contenida en un plano exacto, sino que tiene algo de curvatura, por tanto, se puede decir que la utilización de un sistema de seguimiento produce

una mejora considerable en la eficiencia energética (Turrillas-Solabre & Aginaga-García, 2014).

Teniendo en cuenta el trabajo (BUSTAMANTE, 2022) donde realiza un análisis de la eficiencia energética en paneles policristalinos en la ciudad de Popayán teniendo en cuenta sus condiciones climatológicas, se obtiene como respuesta que la energía eléctrica fotovoltaica se ve afectada por los cambios climáticos causando variaciones en la energía esperada según la irradiación medida, por lo que en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos se debe considerar, además de la irradiación, las condiciones climatológicas de la localidad.

TABLA 1. ESTUDIOS DE ESTADO DEL ARTE

Titulo	Características Generales	Aportes al Proyecto	Referencias
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PANELES SOLARES COMO SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA PARA EDIFICACIONES DEL ÁREA URBANA DE CUENCA.”	-Panel solar monocristalino -Potencia nominal de 100W	-Evaluación de eficiencia en panel monocristalino variando su inclinación. -Fórmula para cálculo de eficiencia energética del panel solar -Sucedida baja la eficiencia energética.	(Izquierdo-Torres & Pacheco-Portilla, 2017)
DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CELDAS SOLARES	-Lampara tungsteno simula el sol -Sensor de luz -Célula solar de 54*54 mm -Potencia de 0.414w	-Cálculo del flujo luminoso -Eficiencia de la celda donde del flujo luminoso	(Almanza-Fundora, Garcia-Fernandez, & García-Reina, 2019)

<p>IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO CON RASTREADOR SOLAR Y MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA PARA LA EXTRACCIÓN DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA EL GASTO ENERGÉTICO DE LOS MOTORES</p>	<p>-Condiciones de ensayo standart -Temperatura -Suciedad y polvo -Perdidas por cableado y acoplamiento -Efecto de la sombra -reflexión</p>	<p>-Paneles solares conectados en paralelo aporta mayor corriente de salida -Panel ortogonalmente con los rayos del sol entregará medidas de voltaje y corriente de dimensiones más pequeñas que las máximas entregadas por él, ya que la radiación solar no llega directamente a ellos. -Consumo de motores varía de acuerdo con el ángulo ya que en algunos momentos requiere de más (Flores-Rivera & Dominguez-Ramirez, 2016) esfuerzo que en otros</p>	<p>(Torres-Marquez, Rojas-Montano, & Puñuela-Pardo, 2016)</p>
<p>“MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS PANELES SOLARES DE SILICIO.”</p>	<p>-Dispositivos para la medida de la irradiancia, las horas de la radiación directa -Angulo de incidencia</p>	<p>-Cálculo de las coordenadas horarias -cálculo de sombras -eficiencia disminuye al aumentar la temperatura -sistema móvil y sistema fijo</p>	<p>(Flores-Rivera & Dominguez-Ramirez, 2016)</p>
<p>ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DE PANELES SOLARES POLICRISTALINOS EN FUNCIÓN DE HUMEDAD, IRRADIANCIA, TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL PANEL EN LA CIUDAD DE POPAYÁN</p>	<p>-eficiencia solar -condiciones climáticas de Popayán -paneles solares policristalinos</p>	<p>-evaluacion de la eficiencia en paneles policristalinos -como afecta las condiciones climáticas en el municipio de popayan a los paneles solares policristalinos</p>	<p>(Fabián andrés Bustamante,2022)</p>

9. OBJETIVOS

9.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema para la medición y monitoreo de la eficiencia energética de celdas fotovoltaicas policristalinas en las condiciones ambientales del municipio de Popayán-Cauca.

9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e Implementar la estructura física para paneles mediante el programa SolidWorks y los componentes de hardware y software del sistema para la medición de eficiencia energética en celdas fotovoltaicas mediante herramientas de Diseño Asistido por Computador
- Implementar un sistema que permita la medición de eficiencia energética para celdas fotovoltaicas policristalinas.
- Determinar la eficiencia energética de celdas fotovoltaicas policristalinas en las condiciones ambientales de la ciudad de Popayán-Cauca.

10. METODOLOGIA

La metodología de diseño e implementación mecánica del sistema de medición de eficiencia energética en celdas fotovoltaicas, se realizará siguiendo la metodología de diseño mecatrónico (Gausemeier & Moehringer, 2003). Se desarrollará el sistema bajo la perspectiva del modelo en macro nivel en V (v-shape), donde se establecen elementos fundamentales en el desarrollo como son: requerimientos, diseño del sistema, modelado y análisis, diseño específico, integración del sistema, verificación-validación y producto.

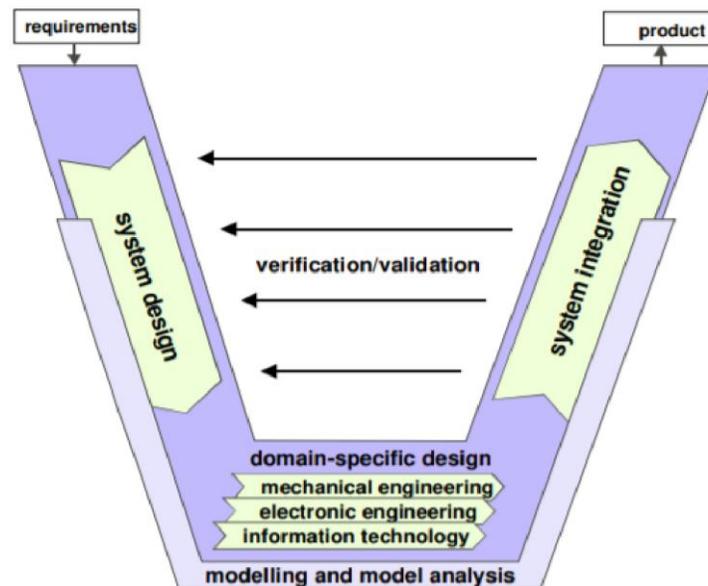


FIGURA 1. Metodología de Diseño Mecatrónico v-shape fuente: internet

Esta metodología es ampliamente utilizada en proyectos de ingeniería y desarrollo de sistemas, y consta de diferentes etapas que se ejecutan secuencialmente.

10.1 Aplicación de la metodología V-Shape

La metodología V-Shape se utiliza para garantizar una planificación adecuada, una implementación efectiva y una evaluación exhaustiva del sistema propuesto. Se compone de dos ramas principales: la rama descendente (desarrollo del sistema) y la rama ascendente (verificación y validación del sistema).

10.2 Diseño de la estructura

En esta etapa, se realiza el diseño detallado de la estructura del sistema. Se definen los requisitos funcionales y no funcionales del sistema y se lleva a cabo el diseño de la arquitectura general del sistema, teniendo en cuenta los objetivos y las especificaciones establecidas en la etapa inicial del proyecto. Se utilizan herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para generar modelos y planos de la estructura.

10.3 Implementación de la estructura

Una vez finalizado el diseño de la estructura, se procede a su implementación física. Esto implica la construcción y ensamblaje de los componentes necesarios para la estructura del sistema. Se utilizan técnicas de fabricación y ensamblaje adecuadas para garantizar la calidad y la integridad del sistema.

10.4 Selección de sensores y Diseño de circuitos

En esta etapa, se realiza una selección exhaustiva de los sensores adecuados para el sistema propuesto. Se consideran los requisitos del sistema, las características de los sensores disponibles en el mercado y las limitaciones técnicas. Además, se lleva a cabo el diseño de los circuitos necesarios para la conexión de los sensores, garantizando una correcta adquisición y procesamiento de los datos.

10.5 Integración del sistema

Una vez que la estructura y los circuitos están implementados, se procede a la integración de todos los componentes del sistema. Se conectan los sensores a los circuitos diseñados y se realiza la interconexión necesaria para lograr el funcionamiento conjunto de todos los elementos.

10.5.1 Elementos de captación fotovoltaica.

En esta etapa, se definen y describen cada uno de los elementos utilizados para formar la estación de medición.

10.5.2 Circuito de conexiones de elementos de captación fotovoltaica

se diseña y se implementa un circuito de conexiones adecuado para garantizar la interconexión correcta de los elementos de captación fotovoltaica. Se consideran aspectos de seguridad y eficiencia en la transferencia de energía.

10.5.3 Diseño de Circuito Electrónico para Impresión de PCB

Se realiza el diseño del circuito electrónico necesario para la impresión de la PCB (Printed Circuit Board). Se utilizan herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para diseñar

el esquemático y el diseño de la PCB, teniendo en cuenta las conexiones necesarias para los elementos de captación fotovoltaica y otros componentes del sistema.

10.5.4 Implementación del Circuito Electrónico

Una vez finalizado el diseño del circuito electrónico, se procede a su implementación física en la PCB. Se utilizan técnicas de fabricación de PCB para la creación del circuito impreso y se lleva a cabo el montaje de los componentes electrónicos sobre la PCB.

10.5.5 Activación de sensores

En esta etapa, se activan los sensores conectados al sistema. Se verifica su correcto funcionamiento y se realizan pruebas preliminares para garantizar una adquisición adecuada de los datos.

10.5.6 Calibración de sensores

Los sensores se someten a un proceso de calibración para asegurar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. Se realizan ajustes y configuraciones necesarias en los sensores para que proporcionen mediciones precisas de acuerdo con los estándares establecidos.

10.5.7 Implementación del sistema solar y sistema de obtención de datos

En esta etapa final, se implementa el sistema solar y se establece el sistema de obtención de datos. Se instalan los paneles solares y se realizan las conexiones necesarias para garantizar un suministro de energía adecuado al sistema. Además, se establecen los protocolos de comunicación y se configuran los dispositivos de adquisición de datos para recopilar, almacenar y analizar la información generada por los sensores.

11. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

11.1 Aplicación de la metodología v-shape

Las actividades de diseño se han realizado con base en la metodología de diseño mecatrónico V-shape donde se contemplan actividades que van desde los requerimientos de diseño hasta la validación a nivel software del prototipo propuesto. A continuación, se muestra el planteamiento inicial. Figura 2

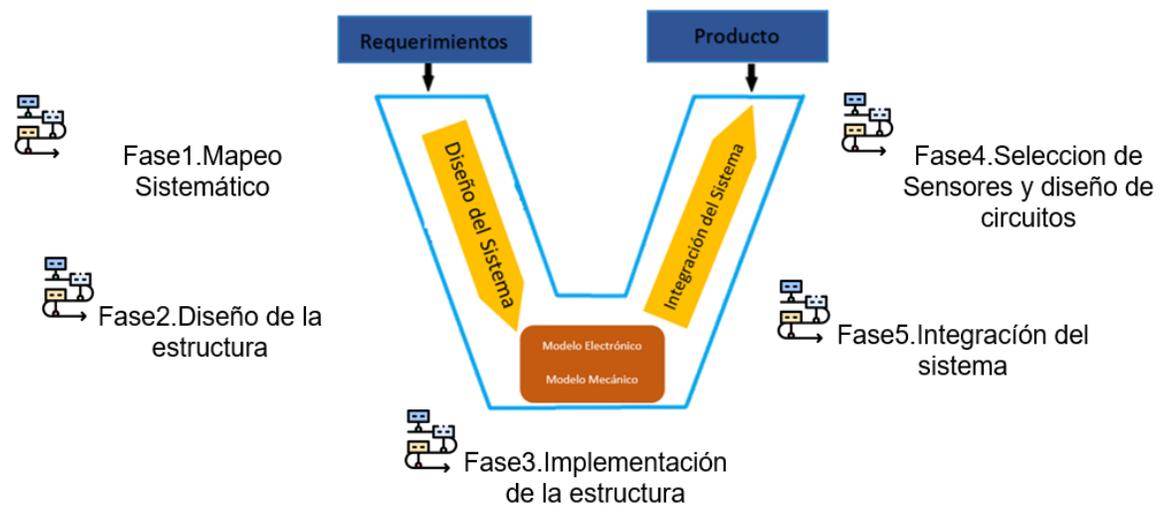


FIGURA 2. Aplicación Metodología de Diseño Mecatrónico v-shape

fuelle: propia

11.2 Diseño de la estructura

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el primer paso es diseñar la estructura que dará soporte a los paneles solares buscando cumplir los requerimientos bases de:

Movimiento en trayectoria solar
Mínimo consumo de energía posible en movimiento
Capacidad de carga 20kg.cm con factor seguridad 1.5
Control de posición

Los prototipos de diseño fueron realizados en el software Solidworks el cual permite realizar el modelo en 3D, a continuación se muestra el proceso de diseño; primer prototipo. figura 3

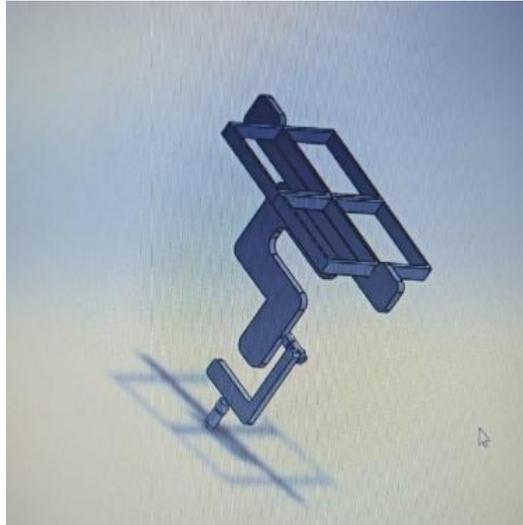


FIGURA 3. Primer Prototipo fuente: propia

Este primer sistema tuvo fallas de diseño donde se concluyó que su centro de masa no era adecuado para el tamaño del sistema ya que presentaba inestabilidad. El sistema de seguridad no cumplió con los estándares y el control de posición que estaba guiado por motores consumía energía en una proporción elevada.

Segundo prototipo figura 4

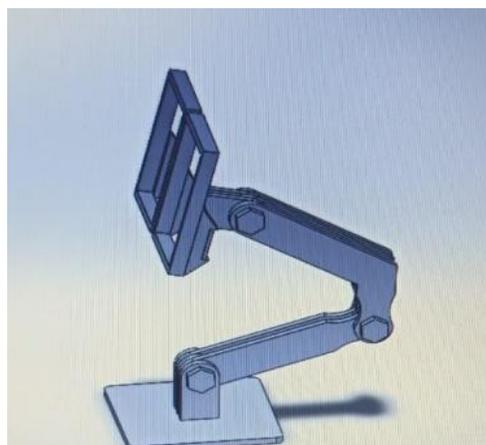


FIGURA 4. Segundo Prototipo fuente: propia

En el segundo sistema se propuso una variante para el control de posición con funcionamiento de manera manual a través de tornillos, pero este diseño aún presenta inestabilidad por la ubicación de su centro de masa.

Tercer prototipo figura 5

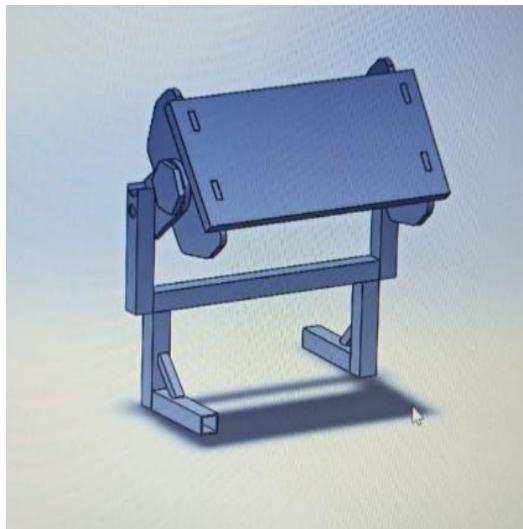


FIGURA 5. Tercer Prototipo fuente: propia

El tercer sistema cumple con la mayoría de requerimientos, pero se descarta debido a que en la superficie donde se coloca el panel no permite ajustar paneles de diferentes tamaños.

Cuarto prototipo figura 6,

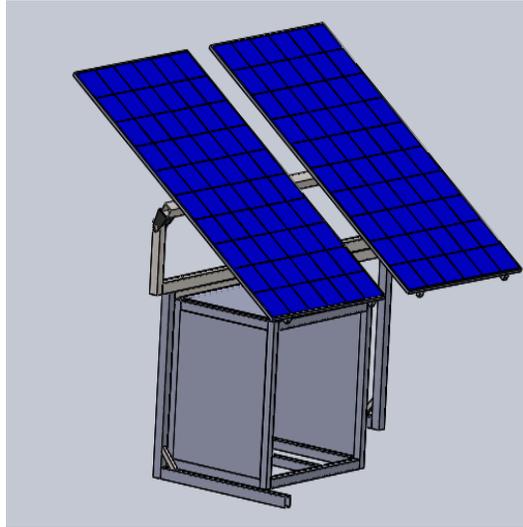


FIGURA 6. Cuarto Prototipo fuente: propia

El cuarto sistema se modificó de un eje a dos ejes en movimiento. Su centro de masa permite la estabilidad de la estructura, el control de posición es manual y la superficie se ajusta al panel de acuerdo al tamaño deseado; cumpliendo este último diseño con los requerimientos mencionados.

Adicionalmente la estación esta complementada con una caja de distribución eléctrica y de control donde se podrá acceder a los elementos y equipos del sistema fotovoltaico.

11.3 Implementación de la estructura

La construcción del soporte fijo y mecanismo de movimiento de los paneles en sus diferentes ángulos se basó en el diseño CAD propuesto anteriormente (ver figura 6).

Primero se fabrica la estructura de soporte fijo, para la cual se utiliza tubo metálico cuadrado 2"x2" calibre 14. Piezas cortadas con sierra manual y uniones mediante soldadura con electrodo revestido. Dando forma a la base fija de medidas 150cm en largo y 40cm de alto, medida que ofrece la estabilidad del prototipo. A continuación, se anexa imagen de la base.



Imagen 1. Base Fija fuente: propia

Después de construida la base fija, se adiciona un elemento tubular de iguales características formando una “C” de ángulos rectos a 90 grados en sus extremos; está se sujeta a la base fija por medio de tornillos.

En los extremos de la “C” se implementan soportes diseñados en CAD y fabricados en impresión 3D los cuales hacen sujeción de una barra horizontal que ejecuta la función de movimiento en rotación y que permite el control de posición manual. Imagen 2



Imagen 2 Barra de Base Móvil para control manual fuente: propia

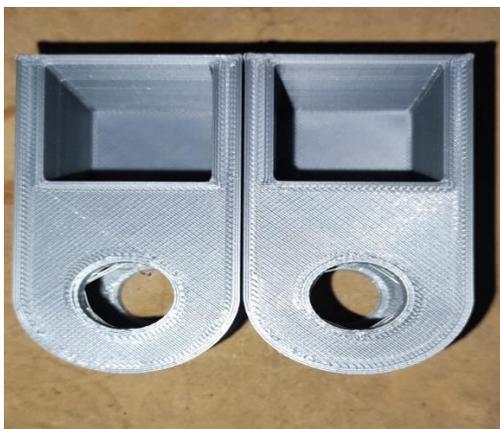


Imagen 3 Soportes fabricados en impresión 3D para soporte de barra móvil fuente: propia

Para la sujeción de los paneles solares se emplearon rieles de 3 cm de ancho por 100cm de largo, sujetos simétricamente a la base móvil para brindar estabilidad al centro de masa de la estructura.



Imagen 4. Rieles fuente: propia

Adicionalmente es necesario implementar abrazaderas móviles que en este caso fueron realizadas en impresión 3D, las cuales se complementan con varillas de sujeción que brindan soporte al nivel de inclinación deseado.

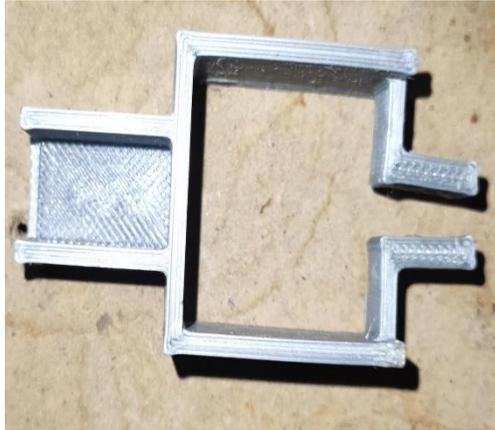


Imagen 5 Abrazadera Móvil impresa en 3D fuente: propia

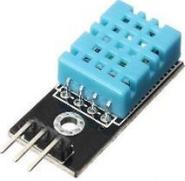


Imagen 6. Abrazadera Móvil con varillas fuente: propia

11.4 Selección de sensores y Diseño de circuitos

La selección de sensores se muestra en la (tabla 2), los cuales se eligen para realizar lectura en datos numéricos de variables de humedad, temperatura en el panel, temperatura ambiente, voltaje y corriente. Información necesaria para lograr el cálculo de la eficiencia energética del sistema fotovoltaico en la ciudad de Popayán.

TABLA 2. SENSORES

Variable	Sensor	Descripción	Imagen
Temperatura Panel	PT-100 – RS RUB	RTD PT100 de superficie. 50° a 150°. 3 hilos, autoadhesivo clase B.	
Temperatura Ambiente y Humedad	DHT 11	sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir aire que circula	
Corriente Eléctrica AC	SCT-013-000	Sensor de corriente tipo pinza no invasivo. Tensión de Salida de 0v a 1v	
Corriente Eléctrica Dc	ACS 712	Sensor de corriente de efecto hall no invasivo. 2.5V para una corriente de 0 A	
Voltaje	Divisor de voltaje	Lm358 con resistencias de potencia para medir voltaje sale del panel.	

Seguido se realiza la programación de sensores para la recolección de datos en el software Arduino que es un micro/controlador de fácil acceso y de código libre, que permite usar sus librerías para leer, interpretar y almacenar cada uno de los datos. **Arduino Nano** que es una de las placas más populares por su tamaño de 18 mm de ancho x 45 mm de largo lo que la hace fácil de implementar. Esta placa está basada en el microcontrolador ATmega328P que permite tener 14 entradas/salidas digitales y 8 entradas analógicas.

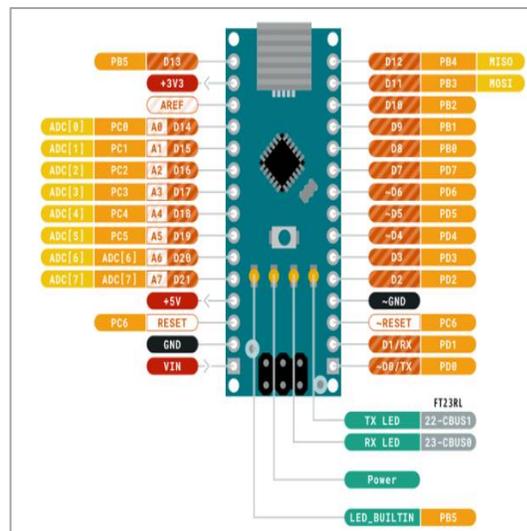


FIGURA 7. Arduino Nano fuente: internet

Teniendo el controlador Arduino y los sensores seleccionados, se dispone realizar las diferentes conexiones teniendo en cuenta la alimentación y la disposición de pines del microcontrolador. Para esto se usó el programa **Proteus** un software de automatización de diseño electrónico, capaz de simular en tiempo real sistemas de circuito de conexiones como se muestra en la figura 8.

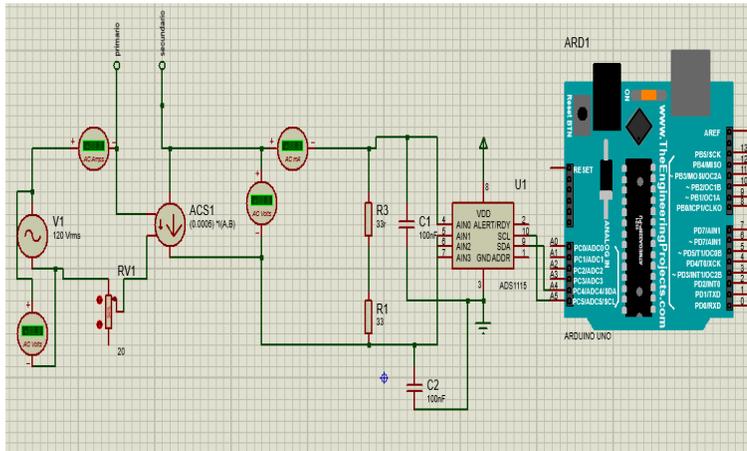


FIGURA 8.Circuito Simulado en Proteus fuente:propia

Una vez implementado el circuito acorde el esquemático de conexiones de la figura 8. se dispone hacer el programa para la lectura y almacenamiento de datos en Arduino como se presenta en el siguiente diagrama de flujo. Figura 9.



FIGURA 9.Diagrama de Flujo funete:propia

Para el almacenamiento de datos se adiciona un sistema datalogger con un módulo de reloj que permite configurar la hora y fecha en la que el sistema está registrando un dato. La integración general de: sensores, microcontrolador, datalogger y sistema reloj se realiza sobre una placa diseñada en el programa Proteus, como se muestra en la siguiente figura 10.

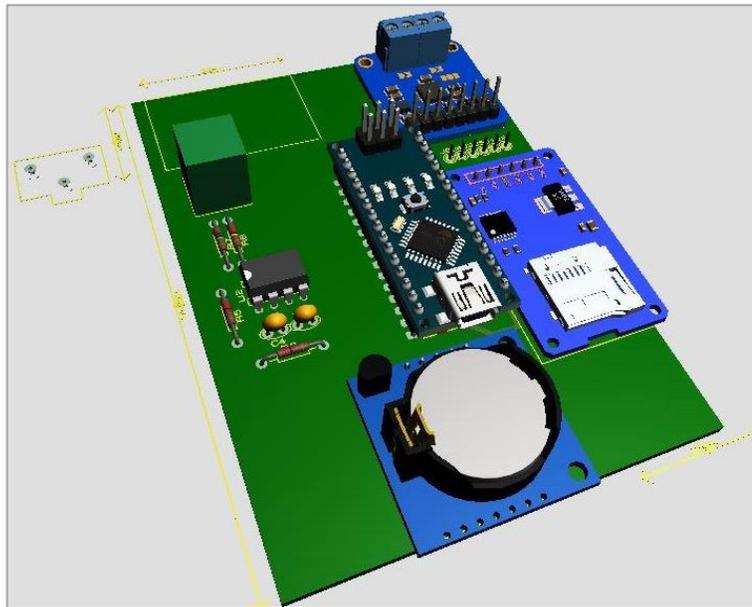


FIGURA 10. Diseño de sistema de almacenamiento de datos fuente: propia

11.5 Integración del sistema

11.5.1 Elementos de captación fotovoltaica.

TABLA 3.ELEMENTOS DEL PROYECTO

Elemento	Descripción	Imagen
Panel Fotovoltaico Policristalino	Potencia de 100 watts, empleados en instalaciones comerciales y residenciales los cuales cumplen con las normas de la Comisión Electro-técnica Internacional (IEC 61215, IEC 61730), estos paneles pueden generar un voltaje de 17.8V en potencia máxima.	
Inversor híbrido Powest	potencia de hasta 3KVA, tienen un flujo de movimiento en el mercado alto dado que son configurables en voltaje y corriente de carga ajustada por el usuario, múltiples modos de funcionamiento.	
Batería	La batería que alimenta el sistema está diseñada con tecnología AGM (Absorbente Glass Mat) y VRLA (Batería de ácido plomo regulada por válvula) tiene usos regulares en UPS, telecomunicaciones, etc.	

<p style="text-align: center;">Breakers</p>	<p>El interruptor breaker trata de salvaguardar la instalación, en su totalidad, frente a posibles sobrecargas y cortocircuitos.</p>	
<p style="text-align: center;">Cable de conexión</p>	<p>El cable fotovoltaico, también conocido como cable PV, es un cable de un solo conductor utilizado para conectar los paneles de un sistema de energía eléctrica fotovoltaica.</p>	

11.5.2 Circuito de conexiones de elementos de captación fotovoltaica.

El sistema de captación fotovoltaica consta de dos paneles policristalinos, un inversor, un sistema de protección por breakers y una batería. Para su conexión se diseñó un plano eléctrico con ayuda del programa CadeSimu. Figura 11, para tener una guía visual al realizar el montaje

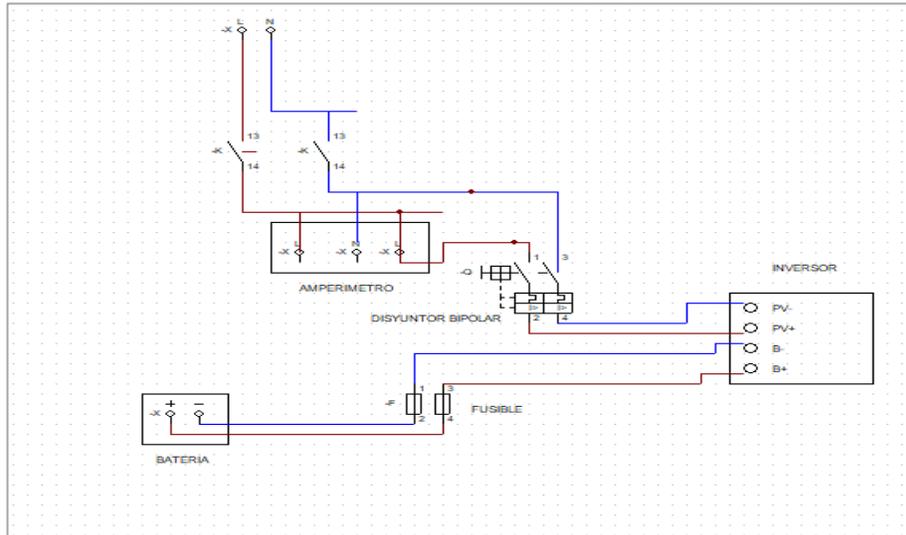


FIGURA 11. Plano Eléctrico Sistema Solar fuente: propia

Durante el diseño se tiene en cuenta que la corriente a medir es un circuito abierto en corriente continua, lo que hace necesario utilizar disyuntores especiales para energía solar de 10 Amp y fusibles para la protección general del sistema.

11.5.3 Diseño Circuito Electrónico para impresión de PCB

El circuito electrónico se diseñó mediante Proteus para garantizar durante la implementación las conexiones de cada elemento con su respectiva entrada en el controlador.

El diseño tiene en cuenta los siguientes componentes y sus funciones:

- 2 sensores de corriente no invasivos que miden hasta 30 A, estos arrojan valores en corriente continua DC y corriente Alterna AC
- Un sensor de corriente alterna tipo pinza que permite medir corriente en cualquier lugar de consumo y tiene un efecto hall que arroja valores de corriente en circuito abierto, calibrado para tomar mediciones con error de +/- 0,1 mA.

- Un divisor de tensión para tomar los valores de voltaje, con dos resistencias de potencia que soportan el voltaje generado por el panel seguido de un amplificador operacional lm358 seguidor de línea para mitigar algún pico de voltaje en caso de ser necesario.

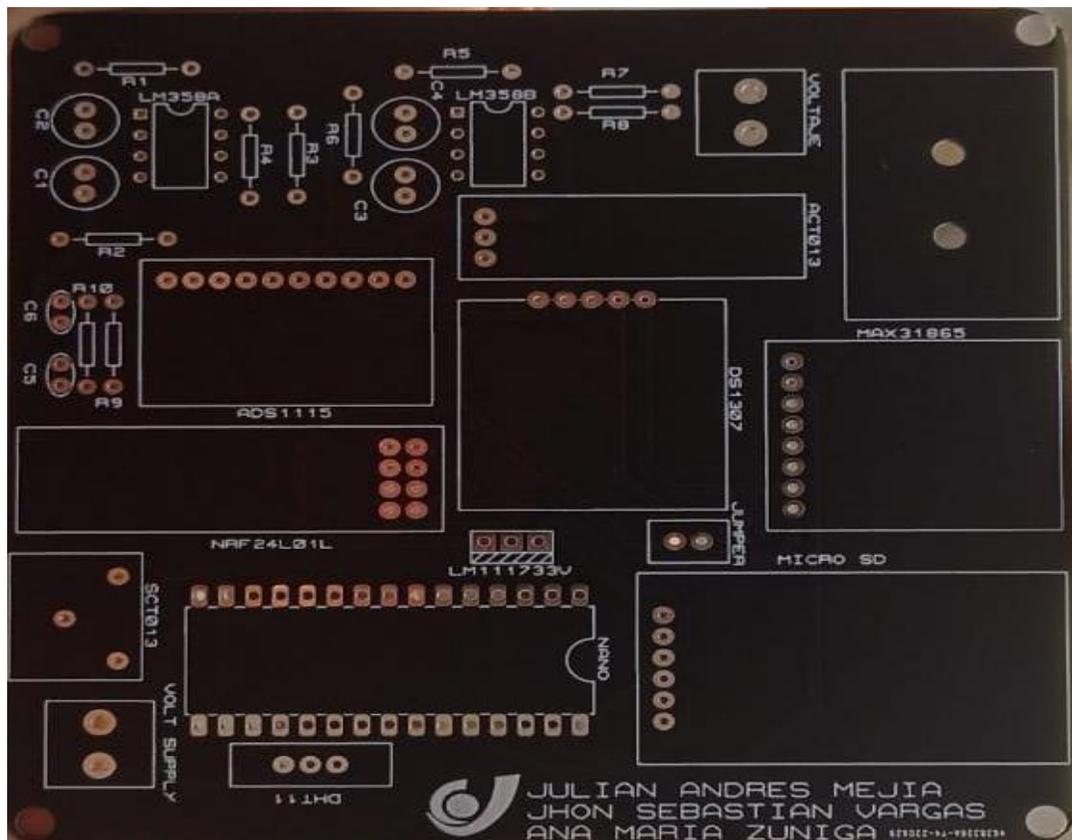


Imagen 7 Circuito Electrónico impreso en PCB funete:propia

- Sensor de temperatura PT-100 con modulo Max 31865, usado para medir la temperatura en la superficie del panel.
- Sensor DHT-11 usado para medir temperatura ambiente y humedad.
- un datalogger con módulo de reloj que informa la hora y la fecha en la que se tomó el dato.
- placa Arduino nano para control compatible con los sensores.
- módulo RTC el cual es capaz de almacenar la fecha y la hora para utilizarla como referencia.

11.5.4 Implementación Circuito Electrónico

En la placa PCB, se llevaron a cabo las conexiones de todos los sensores de acuerdo con el diseño de conexiones previamente realizado en CAD. Utilizando soldadura, se establecieron las conexiones en los pines específicos asignados para cada sensor. Estos pines fueron conectados a los pines de entrada y salida del Arduino, lo que posibilitó la comunicación y la adquisición de datos. Imagen 8

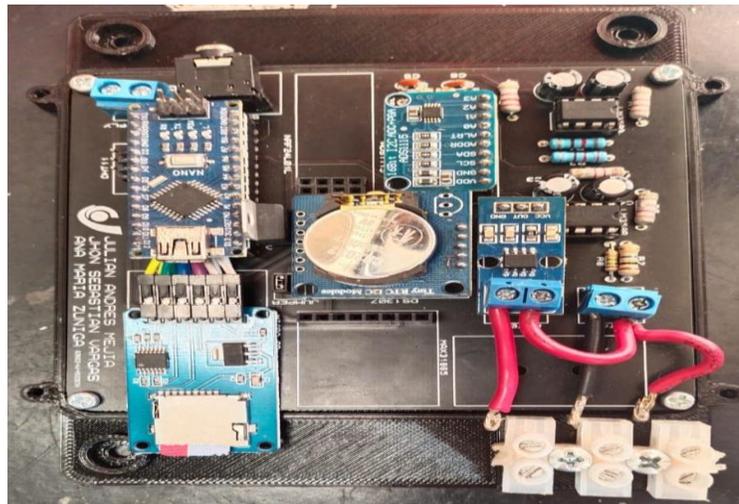


Imagen 8 Implementación de Circuito Electrónico fuente: propia

11.5.5 Activación de sensores

Con la placa PCB montada se da paso a la activación de sensores mediante la programación en el software Arduino para la captura de datos de cada sensor y la medición de las variables correspondientes. Para esta tarea, se utilizan las librerías de ADAFRUIT y DHT, las cuales se encargan de recibir las señales de los sensores PT100 y DHT11.

Además, se incorporó la librería RTCLib, la cual se encarga del manejo de la hora y fecha provenientes del reloj RTC. Esto resulta especialmente útil para sincronizar los datos capturados con la información temporal precisa. Asimismo, se emplearon las librerías SD, SPI y WIRE, las cuales permiten la escritura y almacenamiento de los datos en la memoria microSD.

Después de tener las librerías correctas para las funciones, se procede a definir los pines para entradas-salidas y se definen las constantes que ayudan a adecuar la señal.

Se definen condiciones para el almacenamiento de datos, tales como la frecuencia de adquisición de cada dato y la lectura de los sensores de voltaje, corriente, temperaturas y humedad.

Dentro del bucle "void loop" del Arduino, se establecen las variables para almacenar los datos capturados por los sensores y el módulo de reloj. A continuación, estos datos se guardan en la memoria microSD. Cabe mencionar que cada sensor actualiza sus datos cada 3 minutos, asegurando así una actualización periódica de la información capturada.



FIGURA 12. Diagrama de Flujo para programación en Arduino fuente:propia

11.5.6 Calibración sensores

La calibración fue necesaria antes de iniciar la implementación de todo el sistema de medición para garantizar la fiabilidad de la información.

Para los sensores de corriente y voltaje se tomaron datos cada 3 minutos durante una semana en diferentes horas, estos datos obtenidos durante este tiempo se comparan con datos arrojados por un instrumento patrón como el multímetro UNI-T UT 50C, asegurando que los datos son confiables al tener un margen de error bastante bajo y que tiene una exactitud de acuerdo a la lectura real de voltaje.

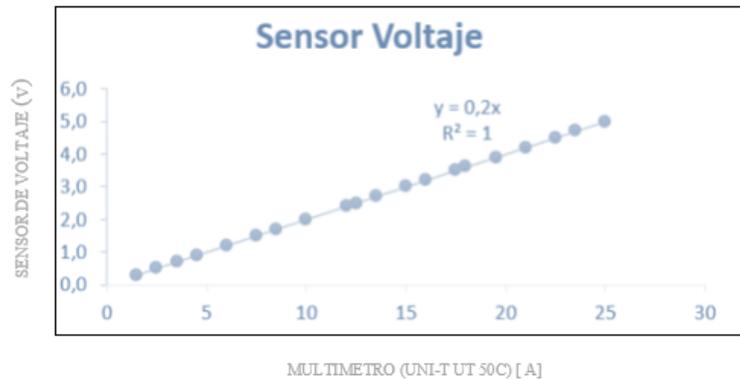


Imagen 9 Calibración Sensor de Voltaje fuente: propia

Durante la calibración, se observó que el sensor de corriente utilizado en el sistema de medición de eficiencia energética presenta pequeñas variaciones en su salida de corriente en comparación con los valores indicados por el fabricante. Sin embargo, estas variaciones fueron bastante pequeñas y no afectaron significativamente el desempeño general del sistema de medición.

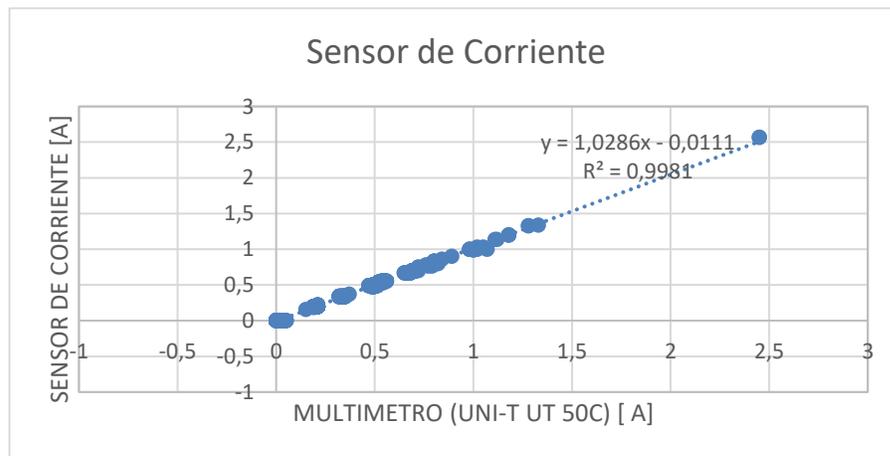


Imagen 10 Calibración Sensor de Corriente fuente: propia

En la caracterización del sensor de temperatura, se utilizó como instrumento patrón la cámara térmica de bolsillo compacta Fluke PTi120. Mediante la comparación de los valores obtenidos por el sensor con los proporcionados por la cámara térmica, se pudo constatar que

los resultados mostraron una alta proximidad entre ambos. Esto indica que el sensor de temperatura se encuentra bien calibrado y proporciona mediciones confiables y precisas

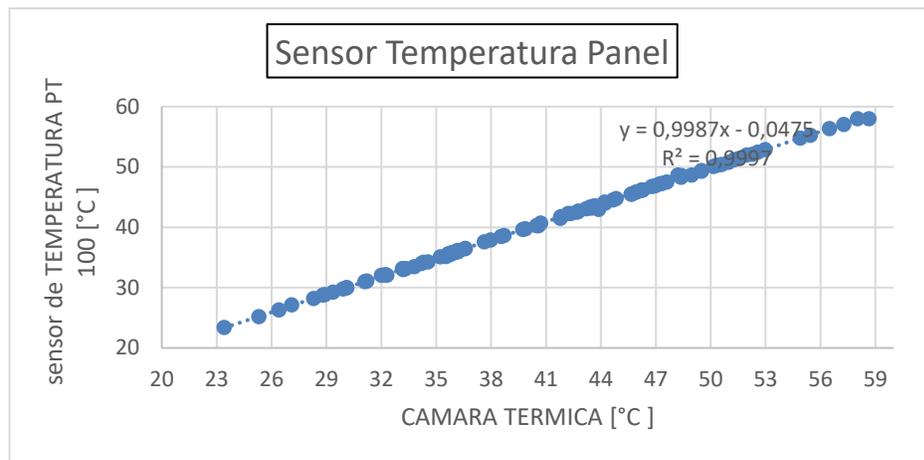


Imagen 11 Calibración sensor de temperatura fuente:proia

11.5.7 Implementación sistema solar y sistema de obtención de datos

La implementación del sistema se dio por módulos los cuales nos permiten completar a cabalidad los objetivos propuestos,

para iniciar se adaptó el sistema mecánico con cada uno de los componentes de la siguiente manera:

los paneles solares se conectaron en paralelo, este tipo de conexión permite que la corriente eléctrica fluya a través de ellos de manera simultánea aumentando la corriente.

una vez ya organizados los paneles en la estructura, se asegura que los paneles estén firmemente fijados y en posición óptima para captar la mayor cantidad de luz solar. imagen 12.



Imagen 12 Posicionamiento de Paneles fuente: propia

Por otro lado, las conexiones del inversor híbrido POWEST se llevaron a cabo siguiendo el manual de usuario correspondiente, como se muestra en la imagen 13. Los cables provenientes de los paneles solares fueron direccionados a través de un sistema de protección de brakers hacia los puertos AC input del inversor. Asimismo, los cables provenientes del puerto batería del inversor se conectaron a un sistema de protección de fusibles antes de ser enrutados hacia la batería.



Imagen 13 Conexiones del inversor Híbrido Powest

Esta secuencia de conexiones garantiza un flujo adecuado de la energía generada por los paneles solares, proporcionando protección y eficiencia en el sistema. Se siguió un enfoque cuidadoso y preciso en la implementación de estas conexiones para asegurar un funcionamiento confiable y seguro del sistema en su conjunto.

Se procede a verificar el funcionamiento correcto de las conexiones mediante un multímetro y se hacen pruebas con un banco de bombillos para verificar que todo el sistema esté funcionando correctamente, también se puede verificar mediante un software de monitoreo llamado Solar Power, el cual brinda información básica del sistema como se observa en la imagen 14.



Imagen 14 Imagen Software Solar Power fuente :internet

al verificar que el sistema funciona correctamente se procede a conectar el sistema de adquisición de datos el cual mide la corriente en circuito abierto, la temperatura en el panel, la temperatura ambiente, la humedad y el voltaje, este sistema se alimenta mediante una power bank para mantener el sistema encendido durante las horas que se va a realizar el estudio. Imagen 15.

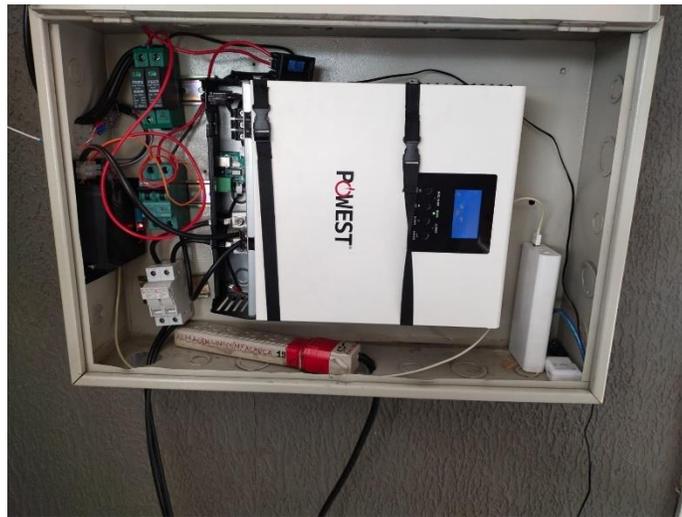


Imagen 15. Conexiones Inversor Powest fuente:propia

12. OBTENCIÓN DE DATOS

Una vez implementado todo el sistema y verificado el funcionamiento de todas las conexiones, se procede a realizar la obtención de datos de manera adecuada. Para asegurar un correcto funcionamiento del equipo, se siguen los siguientes pasos:

1. Se conectan los disyuntores de la celda fotovoltaica para activar el inversor y los fusibles de las baterías.
2. Se realiza una revisión exhaustiva de todas las conexiones del circuito, verificando que estén debidamente fijadas y conectadas en sus respectivos lugares.
3. Se verifica la posición de los sensores para asegurar que sus mediciones no se vean afectadas por una mala posición o una conexión incorrecta.
4. Se enciende el circuito y se verifica que los Leds de indicación estén activos, lo cual confirma su correcto funcionamiento.
5. Al finalizar el día, se procede a revisar los datos obtenidos y se registran en hojas de cálculo para su posterior análisis y procesamiento.

Estos pasos aseguran una adecuada obtención de datos, brindando confiabilidad en las mediciones realizadas y facilitando la recopilación de información para su posterior análisis y evaluación en relación a la eficiencia energética de los paneles solares.



Imagen 16 Sistema en funcionamiento fuente: propia

13. MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA

La importancia de medir la eficiencia energética en paneles solares es fundamental para evaluar el rendimiento y la capacidad de generar energía de estos dispositivos en un entorno determinado. En el caso específico del sistema de monitoreo diseñado, que recopiló datos durante aproximadamente tres meses en un horario de 9:00 a.m. a 4:00 p.m., coincidiendo con las horas de sol pico en la ciudad de Popayán, Cauca, se obtuvieron más de 6,000 datos de diversas variables, como temperatura ambiente, temperatura en el panel, humedad, voltaje y corriente.

Estos datos representan una valiosa fuente de información para comprender el desempeño y la eficiencia energética de los paneles solares en el contexto específico de Popayán. La disponibilidad de un conjunto de datos tan extenso y detallado permite realizar un análisis exhaustivo y en profundidad de cómo los factores ambientales, como la temperatura y la humedad, afectan el rendimiento de los paneles solares.

Al realizar las gráficas correspondientes utilizando los datos ya filtrados, se pueden visualizar tendencias y patrones que proporcionan una visión clara de cómo varían las variables a lo largo del tiempo y cómo se relacionan entre sí. Por ejemplo, se pueden identificar los momentos del día en los que la temperatura en el panel es más alta, lo cual puede influir en el calentamiento de los paneles solares y, por ende, en su eficiencia energética. Asimismo, se puede evaluar la correlación entre la humedad y el rendimiento de los paneles solares, y determinar si existen condiciones óptimas de humedad para maximizar su eficiencia.

El análisis de los datos y las gráficas generadas a partir de ellos proporciona información valiosa para optimizar el diseño y la ubicación de futuros sistemas solares en la región de Popayán. Además, permite identificar posibles mejoras en la eficiencia energética de los paneles solares existentes, como ajustes en la inclinación o limpieza regular de los paneles para minimizar cualquier impacto negativo causado por factores ambientales.

En conclusión, la medición de la eficiencia energética en paneles solares a través de un sistema de monitoreo y el análisis de los datos obtenidos son de vital importancia para comprender y mejorar el rendimiento de los paneles solares en un entorno específico. Los resultados obtenidos a partir de este estudio permitirán tomar decisiones informadas para maximizar la generación de energía solar y contribuir así a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Es fundamental considerar la radiación solar en el presente estudio, a pesar de haber realizado mediciones experimentales. Para validar y respaldar los resultados obtenidos, se procedió a compararlos con las bases de datos existentes. En este caso particular, se tomó en cuenta la base de datos proporcionada por la NASA, que es reconocida por su fiabilidad y precisión en las mediciones de irradiancia y radiación solar.

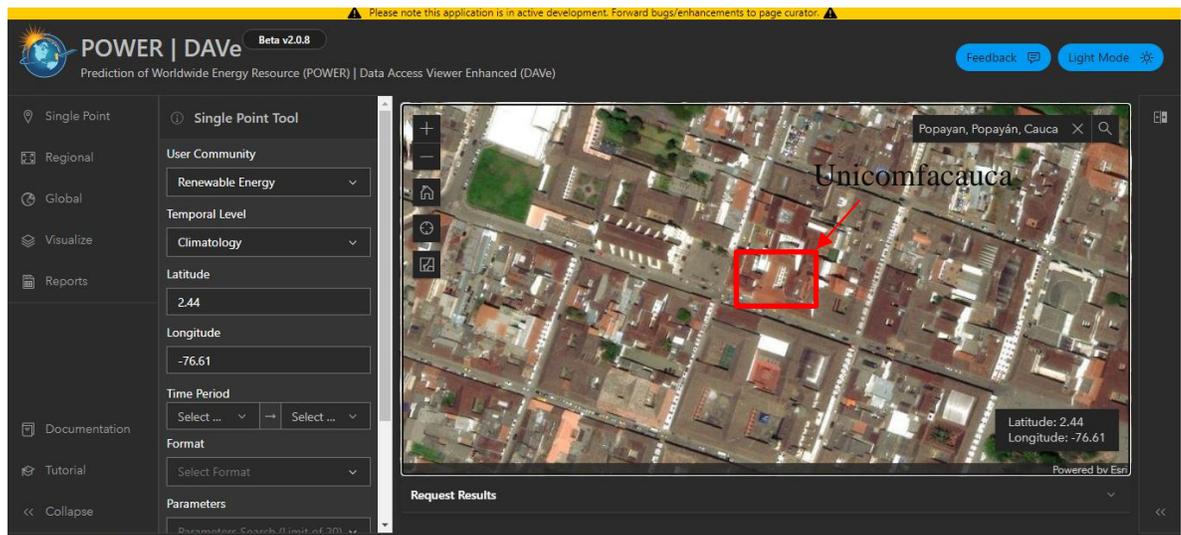


IMAGEN 17. Datos solares y meteorológicos de la NASA fuente: the power project

La utilización de la base de datos de la NASA como punto de referencia para validar los resultados experimentales brinda un respaldo científico sólido al estudio. La correlación entre los datos obtenidos en sitio y los datos confiables y ampliamente aceptados de la base de datos de la NASA proporciona una mayor confianza en la precisión y la representatividad de los resultados obtenidos en el sistema ubicado en la Corporación Universitaria Comfacauca.



FIGURA 13. Radicaion Solar base de datos de la NASA fuente: propia

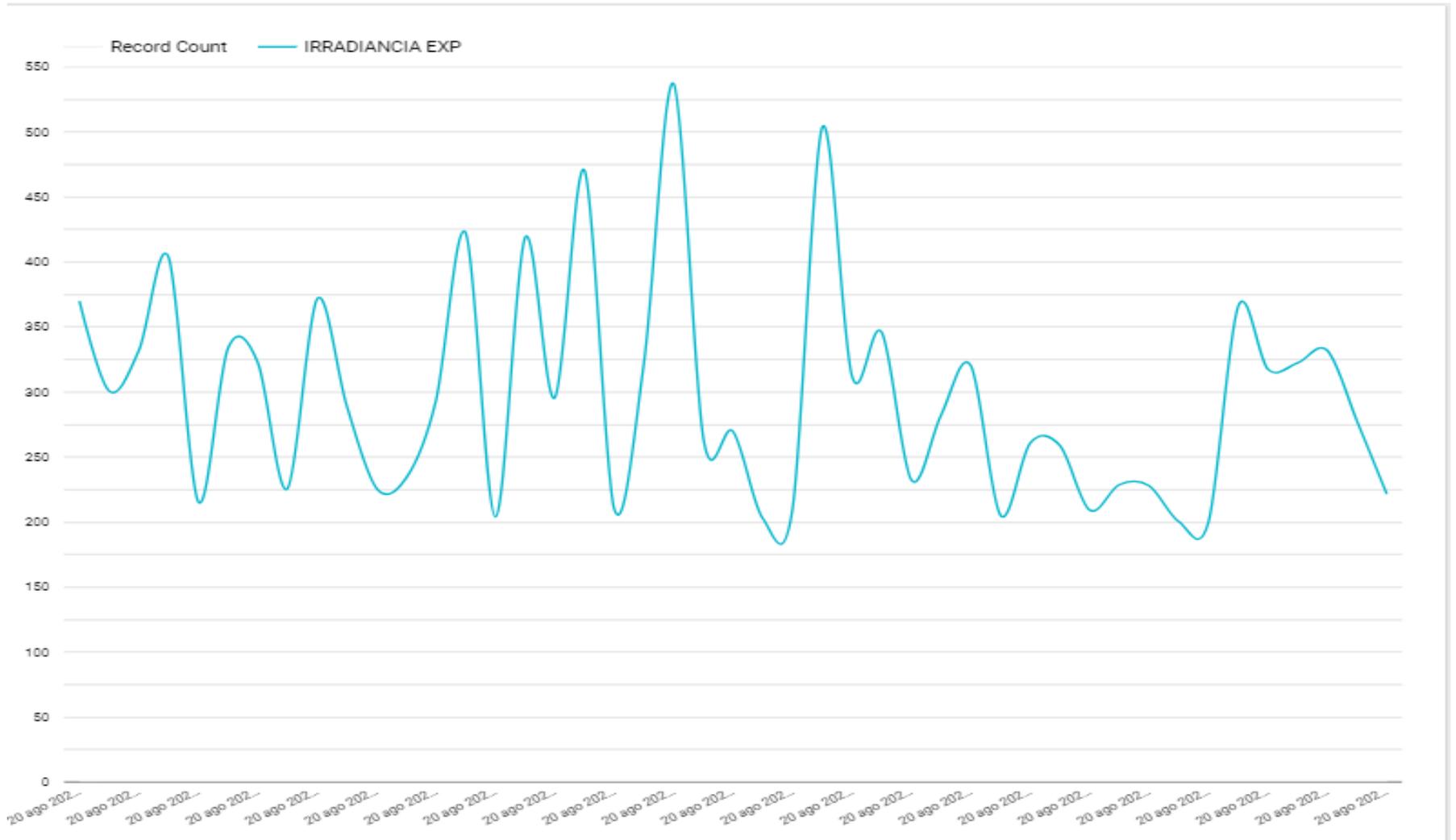


FIGURA 14. Radiación Solar Experimental fuente: propia

Al realizar la comparación entre los datos experimentales (figura 13) obtenidos en sitio en la Corporación Universitaria Comfacauca y los datos de la base de datos de la NASA (figura 14), se pudo verificar que los valores coincidieron de manera exacta. Esta congruencia entre los datos experimentales y la base de datos de la NASA se puede observar claramente en la figuras.

13.1 IRRADIANCIA, POTENCIA VS TIEMPO

Este gráfico amplía la información sobre la variación de irradiancia y potencia durante un periodo de tiempo de acuerdo a las horas solar pico que se tiene durante el día, tomado un día tipo del mes de agosto (figura 14) se observa que son variables directamente proporcionales ya que si aumenta la irradiancia en el panel solar produce aumento de potencia, del mismo modo se realiza la comparación de potencia fotovoltaica con humedad relativa (figura 15) donde se puede observar un comportamiento opuesto.

13.2 POTENCIA, HUMEDAD VS TIEMPO

Este gráfico muestra la variación de la potencia y humedad en función del tiempo. Teniendo en cuenta que la humedad relativa tiene un valor que oscila entre 70 % u 80% RH en la ciudad de Popayán, durante los meses en los que se realizó la toma de datos. Se observa como la humedad relativa influye en la generación de energía eléctrica, ya que causa acumulación de agua en los paneles solares reduciendo la cantidad de energía generada, a menor humedad mayor energía generada. Figura 15.

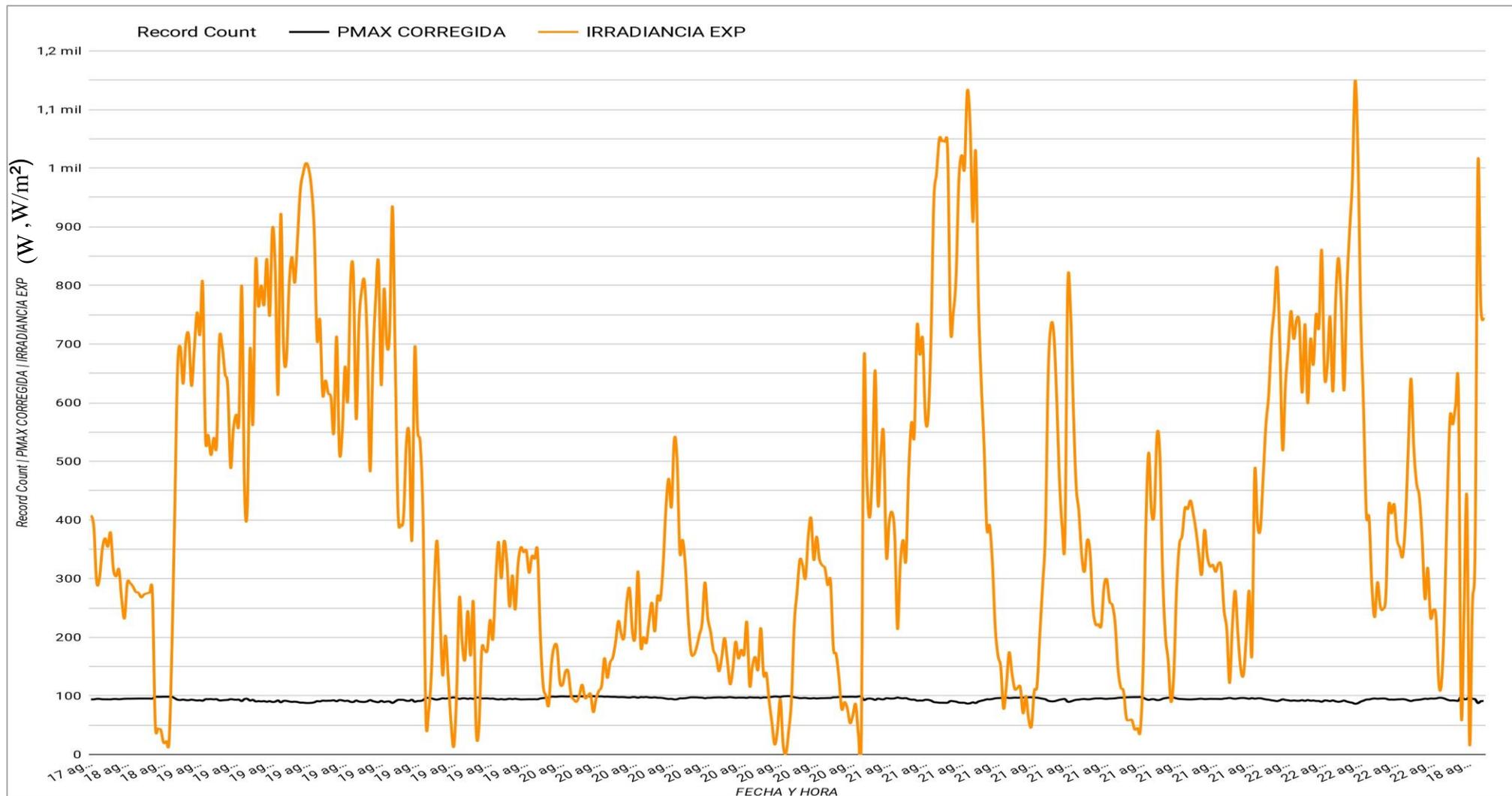


FIGURA 15.potencia e irradiancia en un tiempo determinado fuente: propia

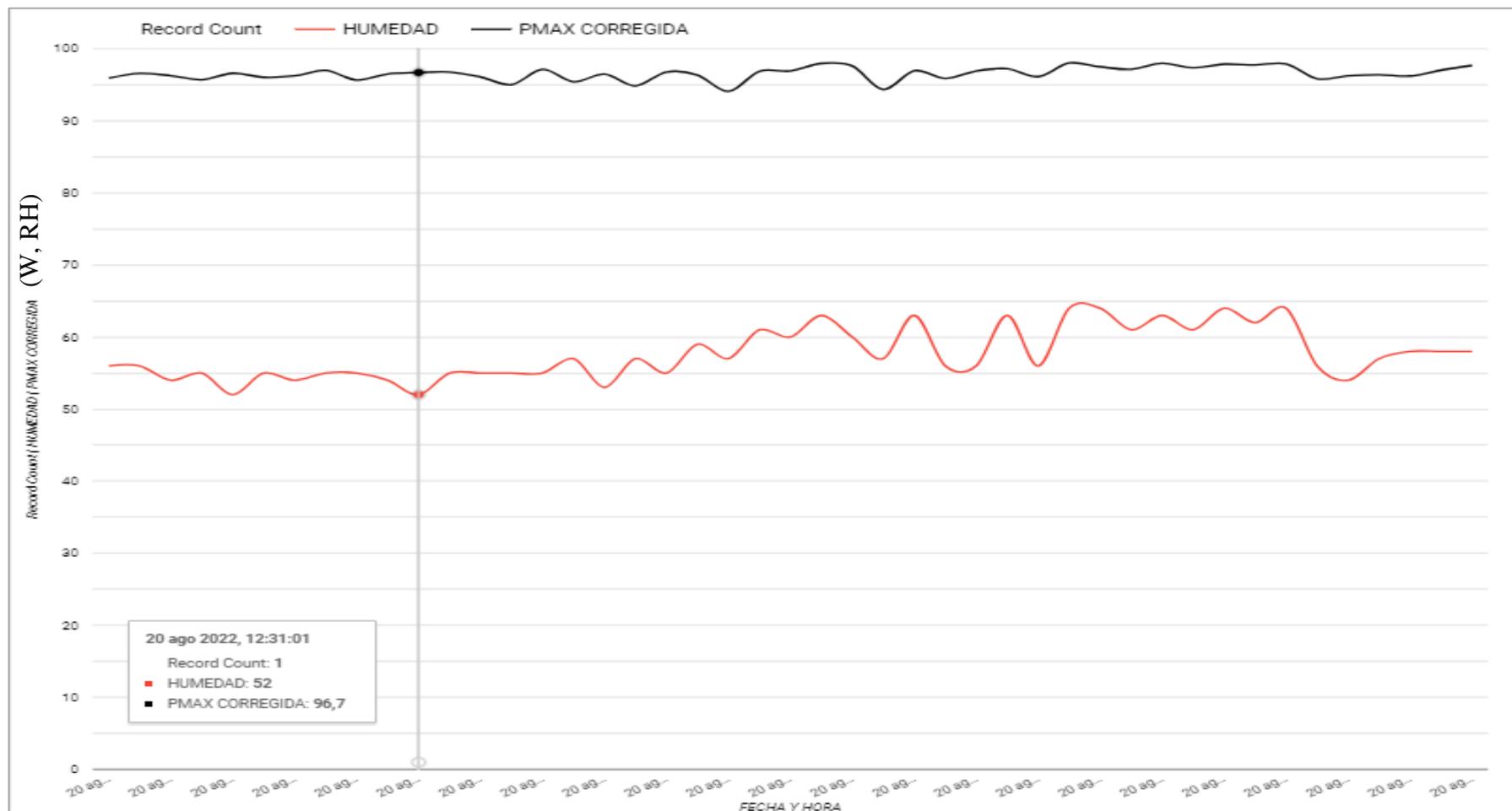


FIGURA 17. Potencia y Humedad en el transcurso del día fuente: propia

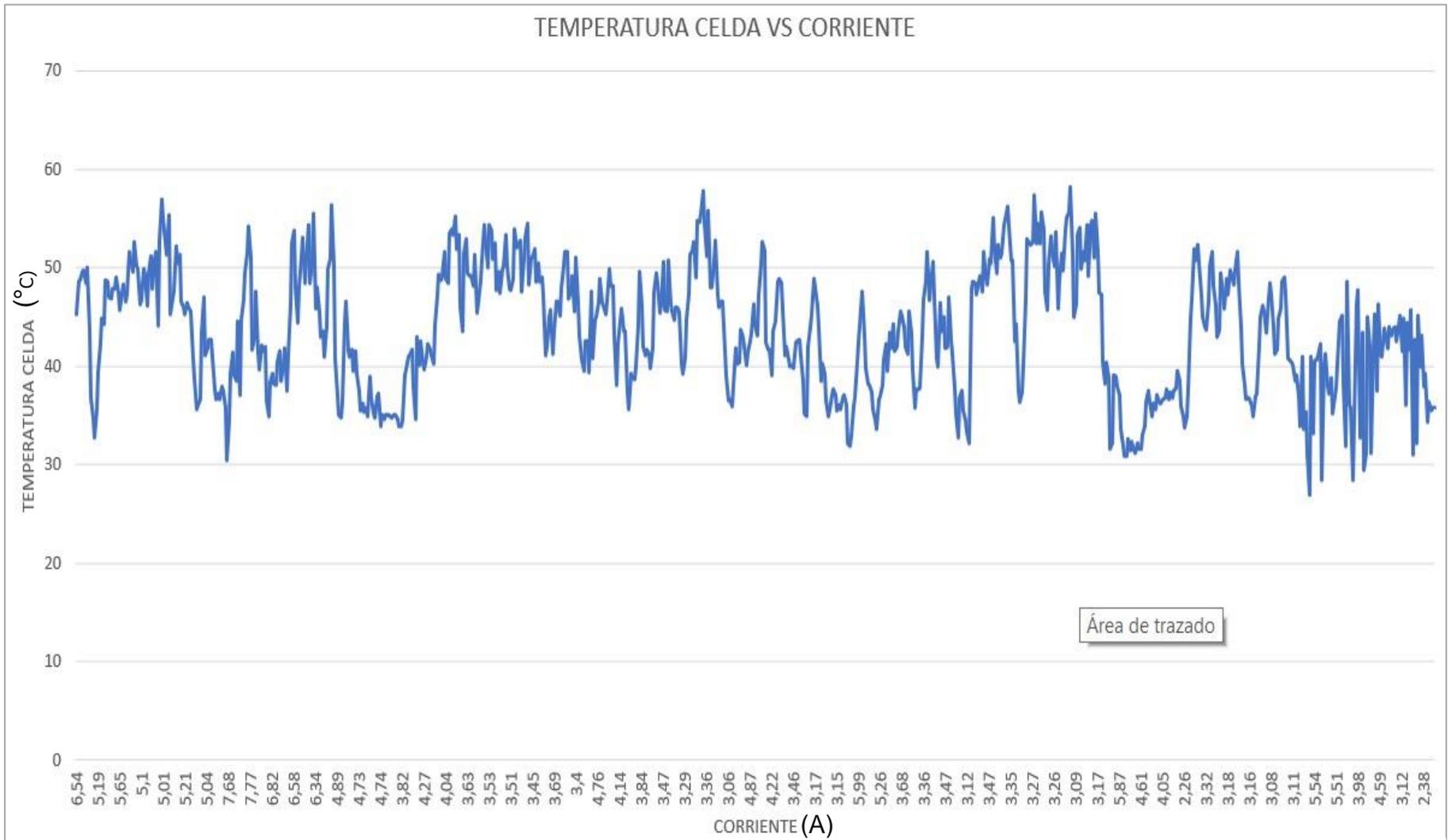


FIGURA 18. Temperatura en el panel vs Corriente fuente: propia

13.3 TEMPERATURA PANEL VS CORRIENTE

Para la generación de energía fotovoltaica se considera que aumenta de manera proporcional con el sol mediante su recorrido durante el día, dicho comportamiento se contempla en escenarios ideales, sin embargo los cambios climáticos muestran la importancia de la toma de datos para entender el comportamiento de los mismos, como se puede analizar en la (figura 16) se muestra la variación de la corriente con respecto a la temperatura en el panel, si la temperatura en el panel aumenta la corriente generada también incrementa en el mismo sentido.

Teniendo en cuenta los datos recolectados y la información descrita en las gráficas sobre cómo influyen las variables climatológicas en la funcionalidad y generación de energía suministrada por los paneles solares, se determinará mediante cálculos la eficiencia y el rendimiento producido por los paneles.

13.4 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGETICA EN EL PANEL SOLAR

13.4.1 CALCULO FACTOR FORMA

El factor de forma se define como el cociente entre la potencia máxima $P_m = I_m * V_m$ que puede entregar una celda solar en condiciones óptimas de operación y el producto entre la corriente de corto circuito I_{sc} y el voltaje en circuito abierto V_{oc} , dándonos como resultado un valor de 0.45 (formula 14)

$$FF = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (14)$$

$$FF = \frac{2.56 A * 18.4v}{4.8A * 21.5v} \quad (15)$$

$$FF = 0.45 \quad (16)$$

13.4.2 EFICIENCIA

Para la ciudad de Popayán el promedio diario de irradiación es de 3.5 kWh/m²/día como mínimo y 4.5 kWh/m²/día como máximo según los datos del (IDEAM), se toma el valor mínimo de irradiancia como constante para calcular el valor de la eficiencia. (formula 17)

$$\eta = \frac{FF * Voc * Isc}{G * A} \quad (17)$$

$$\eta = \frac{0.45 * 21.5 * 4.8}{3.5 * 2} \quad (18)$$

$$\eta = 6.07\% \quad (19)$$

La eficiencia de un panel solar fotovoltaico viene dada por la relación entre la energía máxima producida por el panel y la cantidad de energía recibida sobre este, Donde P_m es la potencia máxima de la celda, G es la irradiancia del sol determinada como la energía incidente por unidad de área por tiempo y A es el área de las celdas.

La conexión del sistema solar fotovoltaico está conectada en paralelo por lo cual aumenta la corriente y voltaje se mantiene, la eficiencia hallada (formula 19) se considera para una sola

célula fotovoltaica por ende la eficiencia del sistema que se utilizó para la toma de datos es de 12.14% (formula 20).

$$\eta = 12.14\% \quad (20)$$

13.4.3 RENDIMIENTO SOLAR

$$n = \frac{P_{max}}{A * E} * 100 \quad (21)$$

$$n = \frac{100}{2 * 350} * 100 \quad (22)$$

$$n = 14.285\% \quad (23)$$

13.5 MEDICIÓN DE VARIABLES CON CARGAS (BOMBILLOS)

En el mes de abril 2023 se llevó a cabo un estudio en sitio, con el objetivo de observar el efecto de cargas aplicadas mediante bombillos entre los rangos de 60w-100w durante las horas solar pico de la ciudad de Popayán, se tomaron en consideración las variables de temperatura en el panel, temperatura ambiente, voltaje y corriente.

Una vez recopilados los datos, se procedió al análisis y representación gráfica de los resultados obtenidos.

13.5.1 POTENCIA, CORRIENTE VS TIEMPO

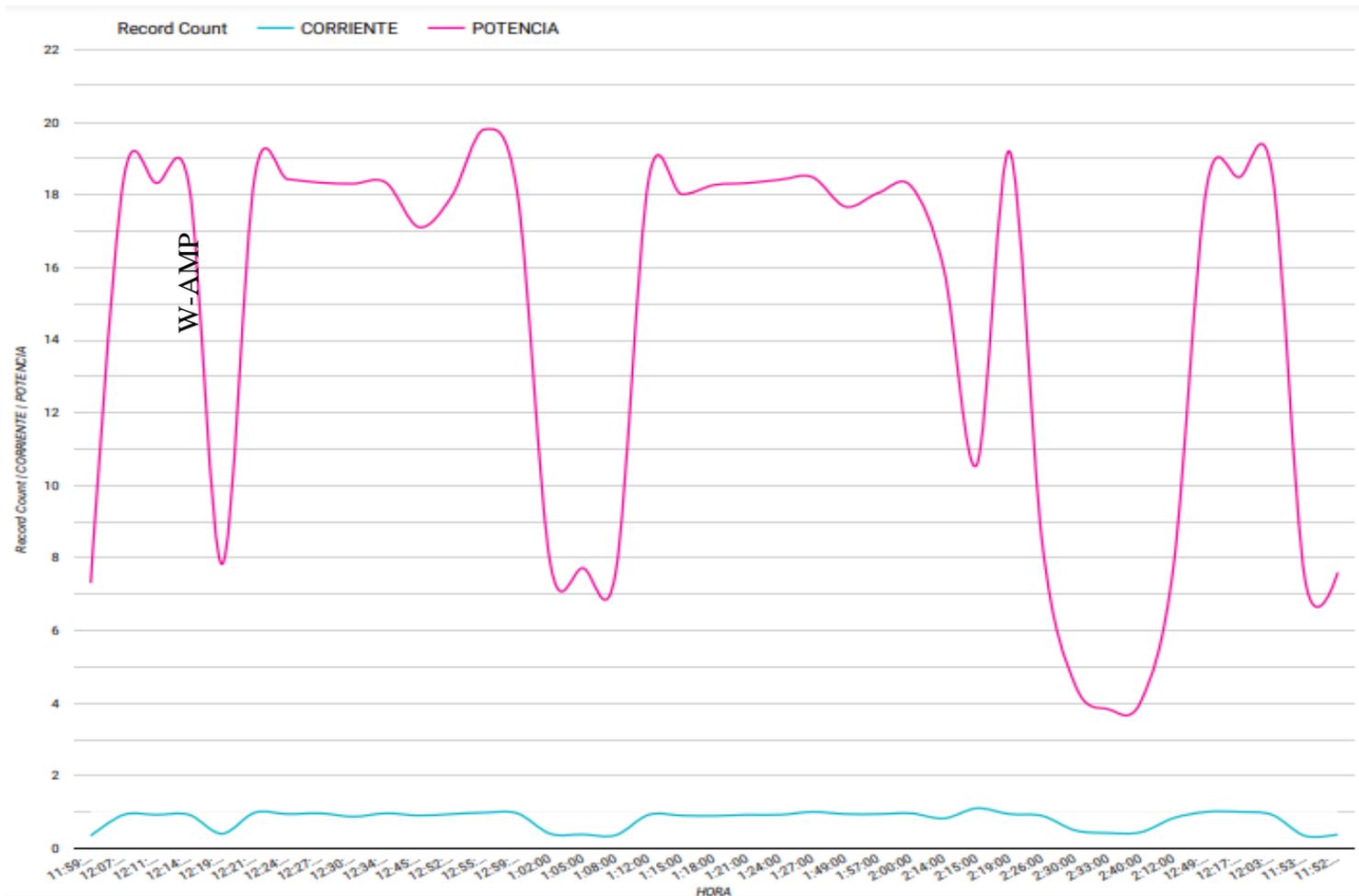


FIGURA 19. Potencia, Corriente vs tiempo fuente: propia

13.5.2 POTENCIA, VOLTAJE VS TIEMPO

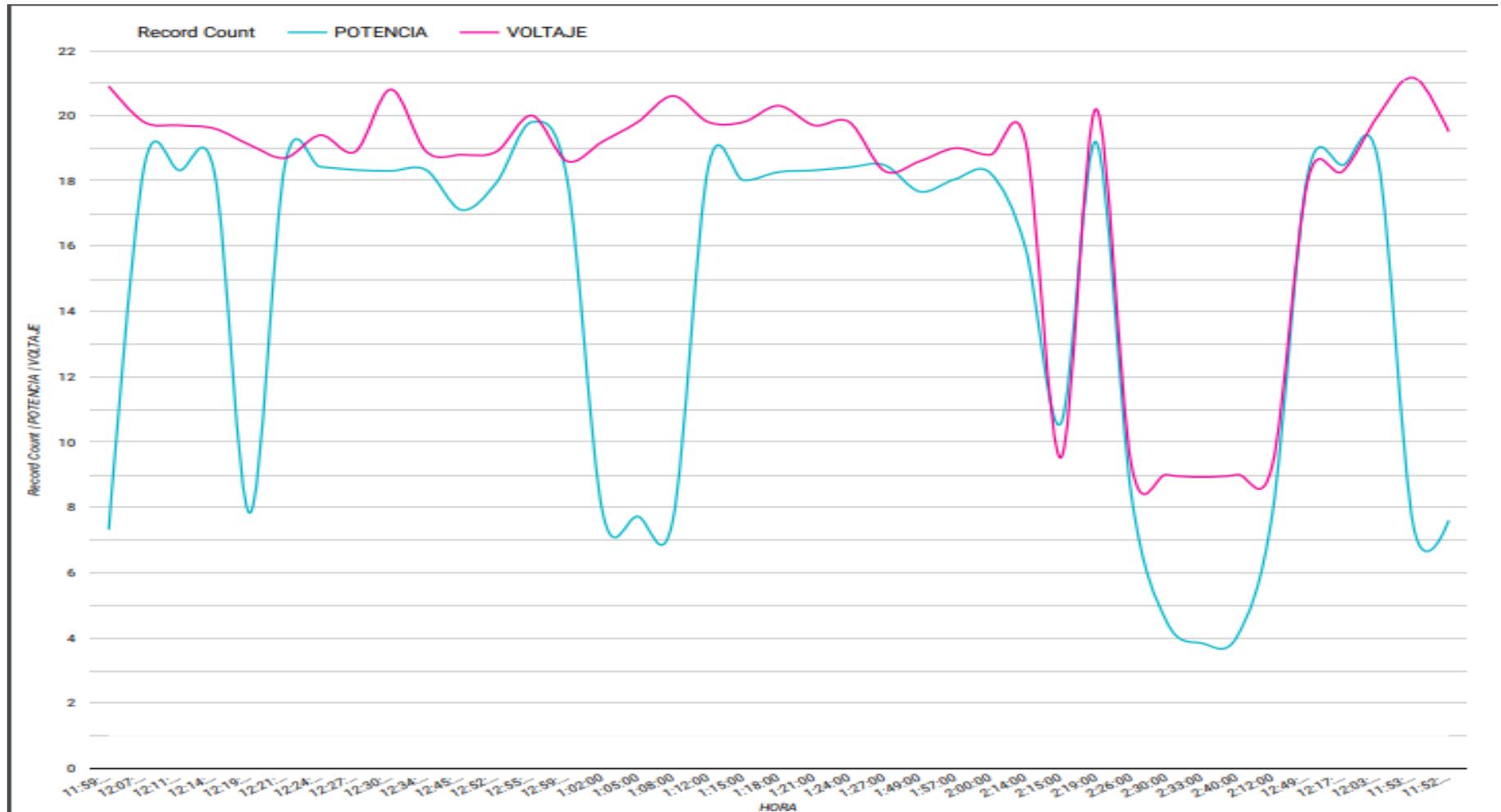


FIGURA 20. Potencia, Voltaje vs Tiempo fuente: propia

13.5.3 TEMPERATURA, POTENCIA VS TIEMPO

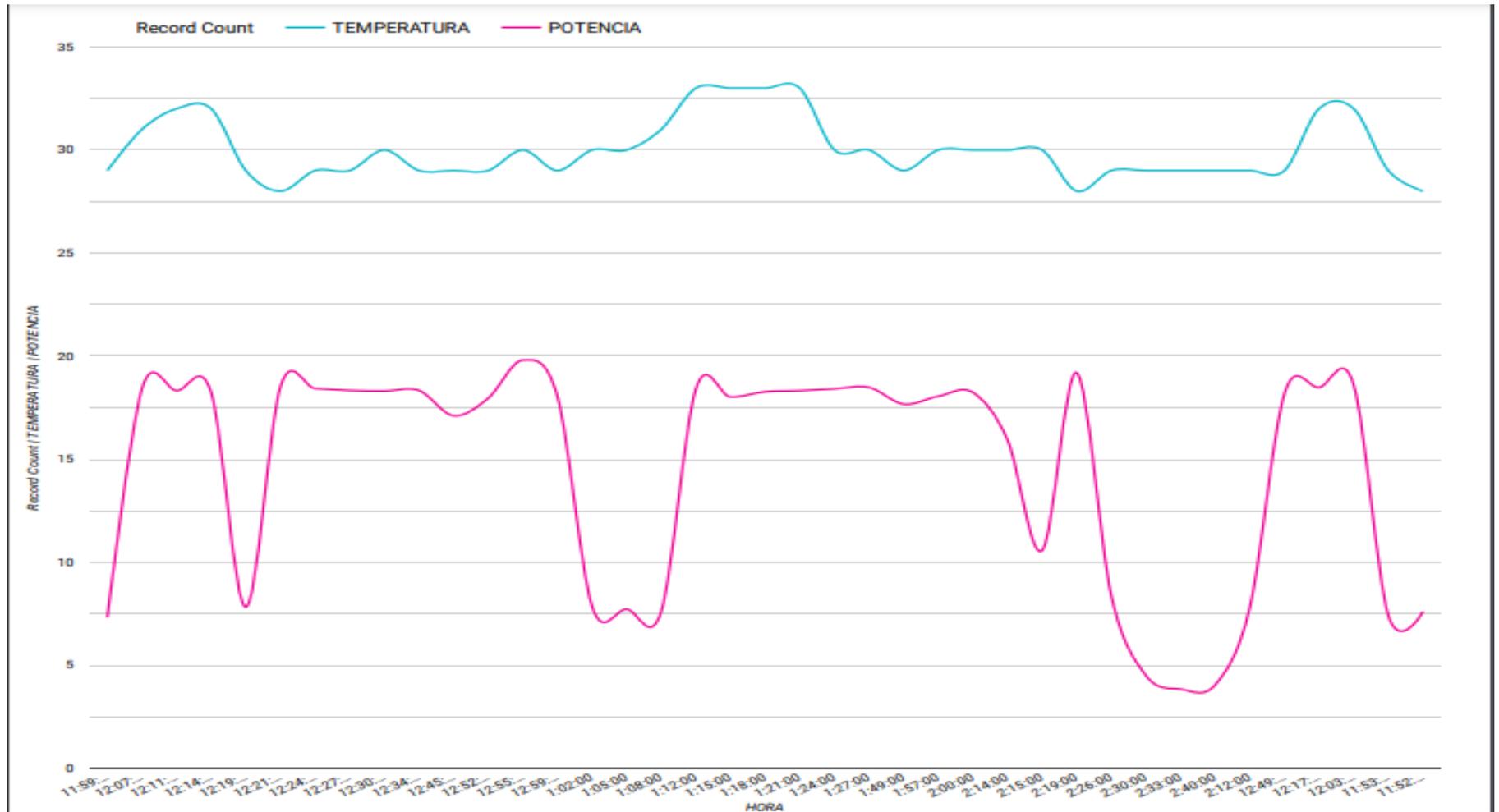


FIGURA 21. Temperatura, Potencia vs Tiempo

14. CONCLUSIONES

Tras el desarrollo del trabajo de grado y la implementación del sistema para la medición de la eficiencia energética de celdas fotovoltaicas en las condiciones ambientales de Popayán-Cauca, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se concluye que a través de la utilización del software especializado SolidWorks ® se logró modelar el CAM / CAE obteniendo el diseño y ensamblaje con éxito de la estructura física destinada a soportar 20 Kg y una rotación de inclinación de 40° en los paneles solares.
- De los 6.000 datos recopilados se aplicaron filtros descartando datos atípicos teniendo finalmente 2.000 datos donde se observa una relación directa entre la temperatura y una relación inversa con la humedad. Esto sugiere que la temperatura es una variable que afecta la generación de energía solar. La humedad también desempeña un papel importante en la eficiencia de las células fotovoltaicas.
- En conclusión, la eficiencia energética de las células fotovoltaicas en las condiciones ambientales de Popayán-Cauca está influenciada por varios factores ambientales, como la radiación solar, la temperatura y la humedad. A pesar de las variaciones climáticas, Popayán cuenta con un alto potencial para la energía solar, lo que sugiere que las células fotovoltaicas pueden ser una fuente viable de energía renovable en la región.
- El clima de la ciudad de Popayán presentó variaciones significativas, lo que afectó la eficiencia de los paneles solares. Se observó que la eficiencia de los paneles solares fue dentro del rango de 50%-70% en comparación con la eficiencia indicada en las especificaciones del fabricante. Estos cambios climatológicos a lo largo del día impactaron el rendimiento y la producción de energía solar.
- Los datos recopilados mostraron una relación directa entre la temperatura y una relación inversa con la humedad. Esto sugiere que la temperatura es una variable que

afecta la generación de energía solar. La humedad también desempeña un papel importante en la eficiencia de las células fotovoltaicas.

En conclusión, la eficiencia energética de las células fotovoltaicas en las condiciones ambientales de Popayán-Cauca está influenciada por varios factores ambientales, como la radiación solar, la temperatura y la humedad. A pesar de las variaciones climáticas, Popayán cuenta con un alto potencial para la energía solar, lo que sugiere que las células fotovoltaicas pueden ser una fuente viable de energía renovable en la región.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Izquierdo-Torres, I. F., & Pacheco-Portilla, M. G. (2017). “*Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca.*”(Título de Pregrado). Cuenca, Ecuador.
- Torres-Marquez, E., Rojas-Montano, J., & Puñuela-Pardo, M. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO CON RASTREADOR SOLAR Y MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA PARA LA EXTRACCIÓN DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA EL GASTO ENERGÉTICO DE LOS MOTORES*(Tesis de Pregrado). Medellín.
- Almanza-Fundora, I., García-Fernández, R., & García-Reina, F. (2019). Desarrollo de un sistema para la medición de la eficiencia energética de las células solares. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Bailey, J., Borleske, A., Fountas, N., Gustafsson, H., Holman, M., & Yee, R. (14 de Septiembre de 2019). *Elster Solutions Llc*. Obtenido de Meter Data Collection: <https://goo.gl/CX79oU>
- Banco Interamericano de Desarrollo, MinTIC, MinMinas, UPME, & Iniciativa Colombia Inteligente. (2016). *Smart Grids Colombia Visión 2030*. Bogotá, D.C.: Grupo Técnico Proyecto BID.
- Celsia. (11 de 9 de 2018). *Normatividad sobre energía solar en Colombia ¿estimula la rentabilidad?* Obtenido de <https://blog.celsia.com/new/normatividad-energia-solar-empresas-colombia/>
- Cocier. (21 de 01 de 2020). *La demanda de energía en Colombia creció 4.02% en 2019*. Obtenido de <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/1858-la-demanda-de-energia-en-colombia-crecio-4-02-en-2019#:~:text=Con%20un%20consumo%20de%2071%2C925,de%20energía%20con%206%2C257%20GWh.>
- Díaz, R., Santos, A., Castro, M., & Vilaragut, M. (2018). *Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica*. *Revista de Ingeniería Energética*.

- Dr. C. Osvaldo Fidel García Morales, I. G. (s.f.). *ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA CON EL USO DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL*. matanzas, cuba.
- EIA. (2020). Obtenido de <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/index.php>
- Flores-Rivera, N. R., & Dominguez-Ramirez, M. A. (2016). “*Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio.*”(Tesis de grado). Chihuahua,Mexico.
- García, E. T. (2014). *Estudio comparativo de la eficiencia energetica en seguidores solares* . Pamplona.
- Gausemeier, J., & Moehring, S. (2003). *A Flexible Procedure Model For The Design Of Mechatronic Systems*. International Conference on Engineering Design ICED 03.
- Gómez, J., Cabeza, I., & Murcia, J. (2017). *La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas*.
- Gómez, V., Hernández, C., & Rivas, E. (4 de 2018). *Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n2/0718-0764-infotec-29-02-00089.pdf>
- GONZÁLEZ, J. D. (2019). *EVALUACIÓN DE UNA RED EXPERIMENTAL PARA UN SISTEMA*. IBAGUE.
- IDEAM. (2005). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Jhonnatan Gómez-Ramírez, J. D.-M.-R. (s.f.). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA* .
- Jhonnatan Gómez-Ramírez, Jairo D. Murcia-Murcia, Ivan Cabeza-Rojas. (2017). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA*.
- Juan Peralta, A. L. (2013). *Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de*.
- La Guía Solar. (26 de 5 de 2015). *Universidad Autónoma de Occidente le apuesta a la energía solar*. Obtenido de <http://www.laguiasolar.com/universidad-autonoma-de-occidente-energia-solar-en-colombia/>

- MME, & UPME. (12 de 2016). *MME y UPME. Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 – 2022 Una Realidad Y Oportunidad Para Colombia*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROUR E_2017-2022.pdf
- Moine, J. (2013). *Metodologías para el descubrimiento de conocimiento en bases de datos: un estudio comparativo*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- MSc. Ivelisse Almanza-Fundora, L. R.-F. (s.f.). *revista de ciencias tecnicas agropecuarias*. Naciones Unidas. (25 de 9 de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Norma Rosario Flores Rivera, M. Á. (s.f.). *Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio*.
- OLADE. (2017). *Manual Estadística Energética 2017*. Quito, Ecuador.
- Proclama del Cauca. (27 de 11 de 2019). *CEO entregó el mayor proyecto de energía solar del Cauca*. Obtenido de <https://www.proclamadelcauca.com/ceo-entrego-el-mayor-proyecto-de-energia-solar-del-cauca/>
- REN21. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. Paris, France.
- Turrillas-Solabre, E., & Aginaga-García, J. (2014). *Estudio comparativo de la eficiencia energetica en seguidores solares(Trabajo de Grado)*. Pamplona.
- Udenar. (30 de 8 de 2016). *Proyecto de energías alternativas Alternar, avanza en el departamento de Nariño*. Obtenido de <https://periodico.udenar.edu.co/proyecto-energias-alternativas-alternar-avanza-en-departamento-narino/>
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá.

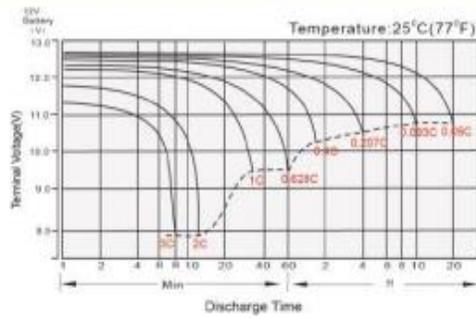
ANEXOS

Ficha técnica del panel solar

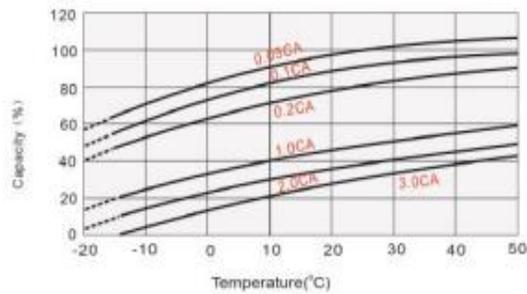
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Polí-Cristalino
Potencia máxima	100W
Tolerancia salida de potencia	0 /+5
Voltaje de circuito abierto	21.3VDC
Corriente de cortocircuito	6.08A
Voltaje en potencia máxima	17.8VDC
Corriente en potencia máxima	5.62A
Eficiencia	14.5%
Max. serie de fusible	10A
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
Peso	7.6kg
Celda (cantidad / material / número de barras colectoras)	72 / silicio multicristalino / 4 or 5
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundidad)	1030mm/670mm /35mm
Clase de aplicación	A
Distancia Cable	NO
Conector	NO
Calificaciones y certificado	IEC 61215, IEC 61730, CE, MCS, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004,BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000
STC: irradiación de 1000 W / m ² , temperatura del módulo de 25 ° C, espectro AM1.5g según EN 60904-3. Reducción de eficiencia relativa promedio de 3.3% a 200W / m ² según EN 60904-1.	

ficha técnica de la batería

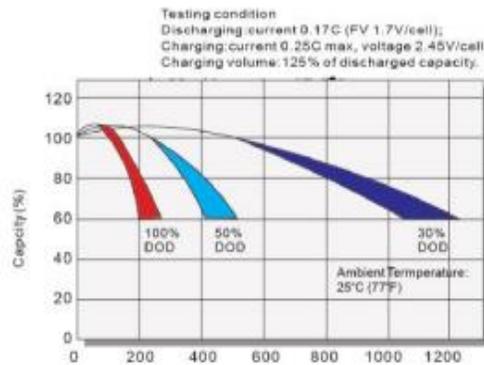
Características de Descarga



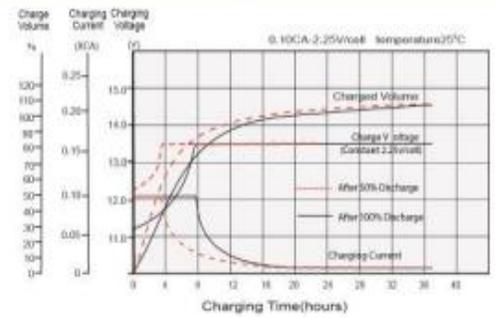
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



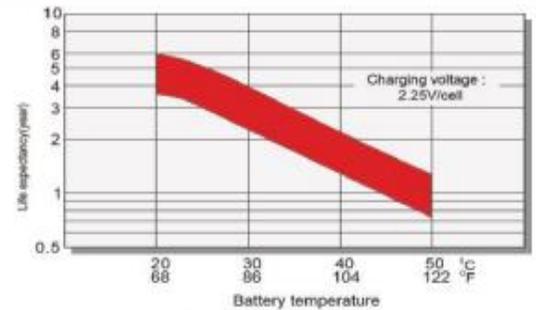
Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



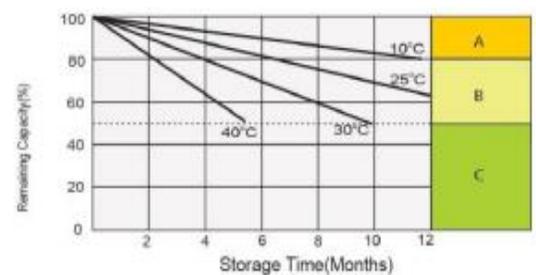
Características de Carga en flotación



Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Características de Auto-descarga



- A** No requiere carga suplementaria (Realizar la carga suplementaria antes de usar si se requiere el 100% capacidad).
- B** Se requiere carga suplementaria antes usar. Opciones de Carga:
 1. Cargar durante 3 días con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.25V / celda.
 2. Cargar durante 30 horas con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.15V / celda.
 * El tiempo de carga de 30 horas es una referencia, puede variar.