



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA  
CON UN SISTEMA DE REFRIGERAMIENTO A BASE DE  
CIRCULACIÓN DE AGUA**

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

AUTORES: JOFFRE ANDRES CALLE ALVARADO  
BORIS PAOLO CHINCHILIMA PIÑACELA

TUTOR: NATALIA XIMENA GONZALEZ ALVAREZ

Cuenca - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Joffre Andrés Calle Alvarado con documento de identificación N° 0105182562 y Boris Paolo Chinchilima Piñacela con documento de identificación N° 0104478631; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, Julio del 2023

Atentamente,



---

Joffre Andres Calle Alvarado  
0105182562



---

Boris Paolo Chinchilima Piñacela  
0104478631

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Joffre Andres Calle Alvarado con documento de identificación N° 0105182562 y Boris Paolo Chinchilima Piñacela con documento de identificación N° 0104478631, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico “Análisis de la producción de energía fotovoltaica con un sistema de refrigeramiento a base de circulación de agua”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Julio del 2023

Atentamente,



---

Joffre Andres Calle Alvarado  
0105182562



---

Boris Paolo Chinchilima Piñacela  
0104478631

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Natalia Ximena González Álvarez con documento de identificación N° 1205860974, docente de la Universidad Universidad Politécnica Salesiana., declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "Análisis de la producción de energía fotovoltaica con un sistema de refrigeramiento a base de circulación de agua, realizado por Joffre Andrés Calle Alvarado con documento de identificación N° 0105182562 y por Boris Paolo Chinchilima Piñacela con documento de identificación N° 0104478631, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Julio del 2023

Atentamente,



Ing. Natalia Ximena González Álvarez Mgtr.  
1205860974



## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos brindado sabiduría a lo largo de este recorrido de nuestra vida estudiantil y por bendecirnos cada día.

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por habernos formado como profesionales, guiándonos por el camino correcto del respeto y el amor por nuestra profesión. También agradezco a cada uno de los instructores por impartir sus conocimientos día a día, motivándonos a convertirnos en profesionales de alta calidad.

A nuestra tutora, la Ing. Natalia González, por el tiempo dedicado a lo largo de este camino para llevar a cabo este proyecto. Por su búsqueda de la excelencia, y que Dios la bendiga abundantemente por su carácter ejemplar.

A todos nuestros familiares y amigos, gracias por estar presentes en cada momento y por sus infinitas palabras de motivación.

*Joffre Andrés Calle Alvarado, Boris Paolo Chinchilima Piñacela*

## DEDICATORIA

*A mis padres Lourdes Alvarado y Joffre Calle por darme la educación que es lo mas valioso que se pueda dar como padres, se los agradezco de corazón.*

*A mis hermanos por apoyarme incondicionalmente en toda esta carrera universitaria*

*A mis Abuelitos Mariana Paredes, Hermel Calle y mi hermano David Calle por apoyarme en estas ultimas instancias de la universidad y enseñarme a no darme por vencido y continuar hasta terminar la carrera universitaria.*

*A Dios por permitirme existir y a toda mi familia, amigos que confiaron y me ayudaron a lo largo de mi vida universitaria.*

***Joffre Andrés Calle Alvarado***

*Este logro quiero dedicarme por confiar en mi, a mis padres Vicente chinchilima y Gerardina Pinacela y mi Nilsa Chinchilima por apoyarme con su amor incondicional y cada una de las personas que me rodean día día porque gracias a ellos eh podido forjar carácter y tomar decisiones que me llevaron a culminar este logro. Me siento muy agradecido con Dios y con la vida por esta satisfacción que da inicio a mi carrera profesional y personal.*

***Boris Paolo Chinchilima Piñacela***

# Índice general

<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>5</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>6</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>17</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>20</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>21</b>
<b>PROBLEMA DE ESTUDIO</b>	<b>22</b>
<b>JUSTIFICACION</b>	<b>23</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>24</b>
<b>1. CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>25</b>
1.1. ESTADO DEL ARTE . . . . .	25
1.2. ANTECEDENTES . . . . .	28

1.3. MARCO TEÓRICO . . . . .	30
1.3.1. Energía solar . . . . .	30
1.3.2. Radiación Solar . . . . .	30
1.3.2.1. Tipos de Radiacion Solar . . . . .	30
1.3.2.2. Unidades de radiación solar . . . . .	31
1.3.3. Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica . . . . .	32
1.3.4. Paneles Solares Fotovoltaicos . . . . .	33
1.3.5. Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos . . . . .	34
1.3.5.1. Silicio puro monocristalino . . . . .	34
1.3.5.2. Silicio puro policristalino . . . . .	35
1.3.6. Curvas Características de Paneles Fotovoltaicos . . . . .	35
1.3.7. Factores que afectan el comportamiento del panel fotovoltaico . . . . .	36
1.3.7.1. Efecto de la Radiación . . . . .	37
1.3.7.2. Efecto de la Temperatura . . . . .	37
1.3.8. Tecnologías de refrigeración aplicadas en paneles fotovoltaicos . . . . .	38
1.3.8.1. Refrigeración con Aire . . . . .	38
1.3.8.2. Refrigeración con Agua . . . . .	39
1.3.8.3. PCM . . . . .	39
1.3.8.4. Nanofluidos . . . . .	40
1.3.8.5. Refrigeración por Tubos de Calor . . . . .	40
1.3.8.6. Refrigeración Agua/Aire . . . . .	41
1.3.9. Sistema de enfriamiento por Agua . . . . .	41
1.3.9.1. Funcionamiento . . . . .	42
1.3.9.2. Partes Principales de un Sistema Chiller . . . . .	42
<b>2. CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>44</b>
2.1. Análisis para la instalación de los Paneles fotovoltaicos. . . . .	44
2.1.1. Ubicación . . . . .	44

2.1.2.	Temperatura Local y Radiación Solar . . . . .	45
2.1.3.	Inclinación y posición óptima del panel solar en Paute . . . . .	45
2.2.	Dimensionamiento de la Bomba de agua para el sistema de enfriamiento por recirculación . . . . .	46
2.2.1.	Caudal del agua para un sistema de enfriamiento de paneles fotovoltaicos	46
2.2.2.	Calculo de Potencia de una bomba sumergible para un sistema de bombeo.	47
2.3.	Sistema Chiller para enfriamiento de agua . . . . .	49
2.4.	Sistema colector de datos de temperatura, voltaje, corriente, hora de captura de datos . . . . .	50
<b>3.</b>	<b>CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO</b>	<b>52</b>
3.1.	Materiales del Sistema Fotovoltaico por enfriamiento de la recirculación del agua . . . . .	52
3.2.	Características del panel solar . . . . .	54
3.2.1.	Características físicas del panel solar fotovoltaico . . . . .	54
3.2.2.	Características eléctricas del panel solar fotovoltaico . . . . .	55
3.2.3.	Curva característica I-V del panel fotovoltaico. . . . .	56
3.3.	Descripción de la bomba sumergible empleada para el proyecto . . . . .	56
3.3.1.	Características de la bomba Sumergible 110 v . . . . .	57
3.4.	Descripción del compresor empleado para el proyecto . . . . .	57
3.4.1.	Características del Compresor Sikelan R-134 110V . . . . .	58
3.5.	Descripción Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart 2p 110v 63 . . . . .	58
3.5.1.	Características de el Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart . . . . .	59
3.6.	Arduino Mega 2560 . . . . .	59
3.6.1.	Características de la Arduino Mega 2560 . . . . .	60
3.7.	Arduino Uno Rev3 . . . . .	60
3.7.1.	Características de la Arduino UNO . . . . .	61

3.8. Arduino NANO ch340 . . . . .	62
3.8.1. Características de la Arduino NANO . . . . .	63
3.9. Sensor de Corriente ACS712 . . . . .	63
3.9.1. Características del sensor de corriente ACS712 . . . . .	64
3.10. Sensor de Temperatura DS18B20 . . . . .	65
3.11. Encapsulado de relay 4 channels . . . . .	66
3.12. Diseño de Partidor de Tensión 40V . . . . .	67
3.12.1. Ensamblaje de partidor de tensión 40v . . . . .	67
3.13. Diseño y Montaje Estructural del Sistema Fotovoltaico . . . . .	68
3.13.1. Dimensiones de la estructura del Sistema Fotovoltaico . . . . .	68
3.13.2. Montaje de la estructura para los Paneles Fotovoltaicos . . . . .	69
3.14. Diseño y Montaje del Sistema de recirculación de agua para enfriamiento del panel fotovoltaico . . . . .	70
3.14.1. Diseño del sistema de recirculación de Agua para el Panel Fotovoltaico .	70
3.14.2. Dimensionamiento de la bomba para el sistema de recirculación de agua	71
3.14.3. Implementación del sistema de recirculación de Agua . . . . .	72
3.14.4. Medición y Regulación del Caudal del Sistema de recirculación . . . . .	72
3.15. Diseño y Montaje del Sistema Chiller para enfriar el agua del deposito . . . . .	74
3.15.1. Montaje del sistema de Chiller . . . . .	74
3.15.2. Ajuste del Sistema Chiller para el sistema de recirculación . . . . .	75
3.16. Diseño y Montaje del Sistema de automatización para la recirculación del agua y enfriamiento del agua . . . . .	77
3.16.1. Condiciones del Sistema de automatización para la recirculación del agua y enfriamiento del agua . . . . .	77
3.16.2. Esquema de Conexión del Sistema de automatización para la recircula- ción del agua y enfriamiento del agua . . . . .	78
3.17. Diseño y Montaje de los sistemas de recolección de Datos de Temperatura, Voltaje y Corriente . . . . .	79

3.17.1.	Diseño del Sistema para recolección de voltaje y Temperatura . . . . .	79
3.17.1.1.	Condiciones del programa para recolección de voltaje . . . . .	80
3.17.1.2.	Esquemas de circuito de voltímetro . . . . .	82
3.17.2.	Diseño del Sistema para recolección de datos de corriente . . . . .	82
3.17.2.1.	Calculo de la carga usada para el Panel Fotovoltaico . . . . .	82
3.17.2.2.	Condiciones del programa para recolección de datos de Corriente	83
3.17.2.3.	Esquema de circuito de Corriente . . . . .	86
3.18.	Programación del Termo-magnético Inteligente Wifi TUYA Smart . . . . .	86
<b>4.</b>	<b>CAPITULO 4: Análisis de Datos y Estudio de Mercado</b>	<b>89</b>
4.1.	Análisis de Datos . . . . .	89
4.1.1.	Análisis día Soleado . . . . .	90
4.1.1.1.	Voltaje vs. Tiempo . . . . .	91
4.1.1.2.	Corriente vs. Tiempo . . . . .	92
4.1.1.3.	Potencia vs. Tiempo . . . . .	92
4.1.2.	Análisis día Nublado . . . . .	93
4.1.2.1.	Voltaje vs. Tiempo . . . . .	94
4.1.2.2.	Corriente vs. Tiempo . . . . .	95
4.1.2.3.	Potencia vs. Tiempo . . . . .	96
4.1.3.	Temperatura máxima alcanzada por el panel fotovoltaico con sistema de recirculación y sin el sistema de recirculación en un Día Nublado y Soleado . . . . .	97
4.1.4.	Análisis de consumo de potencia y costo mensual con la aplicación tuya smart . . . . .	98
4.2.	Estudio Técnico Económico . . . . .	100
4.2.1.	Estudio técnico económico del sistema de recirculación propuesto. . . . .	101
4.2.1.1.	Inversión inicial del proyecto. . . . .	101
4.2.2.	Estudio económico del proyecto. . . . .	102

4.2.3. Retorno de la inversión de los dos sistemas. . . . .	102
4.2.3.1. Retorno de la inversión sin considerar el consumo de energía del sistema de recirculación. . . . .	104
4.2.4. Calculo del VAN y TIR del proyecto. . . . .	104
<b>Conclusiones</b>	<b>109</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>111</b>
<b>Anexos</b>	<b>116</b>
4.3. Programación lineal en Arduino del encendido y apagado de los sistema de Recirculación y Enfriamiento . . . . .	116
4.4. Programación lineal en Arduino para la recolección de datos de Voltaje y Temperatura . . . . .	120
4.5. Programación lineal en Arduino para la recolección de datos de Corriente . .	127
4.6. Datasheet Paneles Solares (Yingli Solar) YGE60 . . . . .	133



# Índice de figuras

1.1. Tipos de radiación [11]. . . . .	31
1.2. Estructura de una célula fotovoltaica [12]. . . . .	33
1.3. Estructura de un Panel Solar [14]. . . . .	34
1.4. Panel Monocristalino [15]. . . . .	35
1.5. Panel Policristalinos [15]. . . . .	35
1.6. Curvas características I-V y P-V de una celda fotovoltaica [16]. . . . .	36
1.7. Efecto de la Radiación en la Curva I-V [17]. . . . .	37
1.8. Efecto de la Temperatura [17]. . . . .	37
1.9. Módulo fotovoltaico refrigerado por aire [18]. . . . .	38
1.10. Refrigeración por agua aplicada a los módulos fotovoltaicos [19]. . . . .	39
1.11. Esquema de un sistema PVT con PCM [20]. . . . .	40
1.12. Refrigeración por nanofluidos aplicado a módulos fotovoltaicos [21]. . . . .	40
1.13. Diagrama esquemático de refrigeración de un módulo fotovoltaico por tubo de calor [24]. . . . .	41
1.14. Configuración de sistemas de refrigeración agua-aire [25]. . . . .	41
1.15. Partes de una sistema Chiller [27]. . . . .	43
2.1. Ubicación de los Paneles Solares. . . . .	44
2.2. Datos Temperatura y Radiación en el Azuay . . . . .	45
2.3. Relación entre potencia y caudal [30]. . . . .	46
2.4. Gráfica de comparación de Temperaturas [31]. . . . .	50
2.5. Dimensiones de panel solar. . . . .	51

3.1. Panel solar (Yingli Solar) YGE60 celdas series 2. . . . .	54
3.2. Dimensiones de panel solar. . . . .	55
3.3. Curva I-V Paneles de 275 w. . . . .	56
3.4. Bomba Sumergible CSP1100Dinox-3A. . . . .	57
3.5. Compresor Neveras Sikelan R-134 110V. . . . .	58
3.6. Compresor Neveras Sikelan R-134 110V. . . . .	58
3.7. Arduino Mega 2560. . . . .	59
3.8. Arduino Uno. . . . .	61
3.9. Arduino nano. . . . .	62
3.10. Sensr de corriente. . . . .	64
3.11. Sensor de temperatura. . . . .	65
3.12. Encapsulado de relay 4 channels . . . . .	66
3.13. Circuito electrónico del partidor de tensión 40v . . . . .	67
3.14. Simulación estructural del Sistema Fotovoltaico. . . . .	68
3.15. Medidas estructurales del Sistema Fotovoltaico. . . . .	69
3.16. Montaje del Sistema Fotovoltaico. . . . .	69
3.17. Sistema de recirculación de Agua para el Panel Fotovoltaico. . . . .	71
3.18. Montaje del sistema de recirculación de Agua. . . . .	72
3.19. LLave de paso del Sistema de recirculación. . . . .	73
3.20. Medición del caudal. . . . .	74
3.21. Montaje del Sistema Chiller. . . . .	75
3.22. Demostración del volumen restante al llenado del recipiente. . . . .	76
3.23. Montaje Final del sistema Chiller en el Sistema Fotovoltaico. . . . .	76
3.24. Diagrama de Automatización del sistema de recirculación y refrigeramiento. . . . .	78
3.25. Diagrama control del sistema de enfriamiento y recirculación de agua. . . . .	79
3.26. Diagrama de flujo de comportamiento de algoritmo para recolección de voltaje. . . . .	81
3.27. Esquema de recolección de datos de voltaje y temperatura en función del tiempo. . . . .	82
3.28. carga colocada en el panel fotovoltaico. . . . .	83

3.29. Diagrama de flujo de comportamiento de algoritmo para recolección de corriente. . . . .	85
3.30. Esquema de recolección de datos de corriente en función del tiempo. . . . .	86
3.31. Entorno TUYA smart. . . . .	87
3.32. Programación de consumo TUYA Smart. . . . .	87
3.33. Programación horario de Encendido del Sistema en General. . . . .	88
4.1. Comportamiento de Temperatura en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado. . . . .	90
4.2. Comportamiento de el voltaje en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado. . . . .	91
4.3. Comportamiento de la Corriente en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado. . . . .	92
4.4. Comportamiento de la Potencia en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado. . . . .	93
4.5. Diferencia de Potencia en un Día Soleado entre el Panel con Sistema y el Normal. . . . .	93
4.6. Comportamiento de la temperatura de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado. . . . .	94
4.7. Comportamiento del Voltaje de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado. . . . .	95
4.8. Comportamiento de la Corriente de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado. . . . .	95
4.9. Comportamiento de la Potencia de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado. . . . .	96
4.10. Diferencia de Potencia en un Día Nublado entre el Panel con Sistema y el Normal. . . . .	97
4.11. Gráfica Consumo en Potencia del Sistema de Refrigeración durante un mes. . . . .	99
4.12. Gráfica Consumo en Costos del Sistema de Refrigeración durante un mes. . . . .	99
4.13. Gráfica Consumo en Potencia del Sistema de Refrigeración Diario. . . . .	100
4.14. Gráfica Consumo en Costos del Sistema de Refrigeración Diario. . . . .	100

# Índice de cuadros

3.1. Datos Técnicos de panel solar 275W. . . . .	55
3.2. Datos de Temperatura de panel solar 275W. . . . .	56
3.3. Características Bomba Sumergible CSP1100Dinox-3A . . . . .	57
3.4. Características del Compresor Sikelan R-134 110V . . . . .	58
3.5. Características de el Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart . . . . .	59
4.1. Temperatura Máxima de los Paneles Con sistema de recirculación y sin el sistema. . . . .	97
4.2. Costo Total del Panel con Sistema de Recirculación. . . . .	101
4.3. Costo Total del Panel con Sistema de Recirculación. . . . .	102
4.4. Costo Total del Proyecto. . . . .	102
4.5. Comportamiento de VAN y TIR en función de 13 % de tasa de descuento para un panel solar de 275W . . . . .	105
4.6. Comportamiento de VAN y TIR en función de 13 % de tasa de descuento para un panel solar de 275W con un sistema de enfriamiento y recirculación de agua . . . . .	107

# GLOSARIO

- DC:** Direct current (Corriente directa).
- FV:** Fotovoltaica.
- CPV/T:** Concentrated Photovoltaic/Thermal.
- CPV:** Concentrated Photovoltaic.
- CFD:** Dinámica de fluidos computacional.
- MJ:** Megajules.
- kWh:** Kilovatios hora.
- Isc:** Corriente de cortocircuito.
- Voc** voltaje proporcionado por la celda a corriente cero (sin carga o en vacío).
- Rs:** Resistencia Serie.
- Pmpp:** Potencia en el Máximo Punto de Potencia.
- Impp:** corriente del máximo punto de potencia.
- PCM:** Phase Change Material.
- CFC:** Clorofluorocarbonos.
- HCFC:** Hidroclorofluorocarbonos.
- UART:** Puertos seriales de hardware.
- PWM:** Modulación por Ancho de Pulso.
- ICSP:** Programación Serial en Circuito.
- CA:** Corriente Alterna.
- CC:** Corriente Continua.
- USB:** Bus Universal en Serie.
- DIP:** Dual In-line Package.
- VCC:** Voltage at the Common Collector.
- GND:** Ground.
- PVC:** Polyvinyl Chloride.
- RTC:** Real-Time Clock.



## RESUMEN

En el presente proyecto, se emprende un exhaustivo análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante la implementación de un sistema de enfriamiento concebido por los autores. Este sistema, diseñado con el propósito de mejorar la producción de los paneles solares mediante una circulación de agua optimizada, desempeña un papel clave en la reducción de la temperatura de dichos paneles. Dicha infraestructura incorporará un Sistema Chiller destinado a enfriar el agua en caso de que la temperatura exceda el umbral óptimo para el correcto funcionamiento del panel. Asimismo, el sistema incorpora dispositivos de sensores encargados de medir la temperatura tanto del agua como del panel, y una bomba para la circulación fluida del agua.

A través del presente estudio, se llevará a cabo un minucioso análisis y comparación del desempeño de los paneles en relación a sus condiciones estándares, considerando aspectos como la potencia y la temperatura. El sistema propuesto se activa de manera automática cuando las temperaturas sobre los paneles alcanzan niveles elevados, lo que regula su temperatura y previene la disminución de la potencia durante el transcurso del día. A pesar de estas innovaciones, es fundamental subrayar que, tras un análisis económico exhaustivo, se concluye que el proyecto no resulta factible desde una perspectiva financiera debido al impacto del consumo del sistema de refrigeración.

## ABSTRACT

In the context of this project, a comprehensive analysis of photovoltaic energy production is undertaken through the implementation of a cooling system devised by the authors. This system, designed with the aim of enhancing solar panel production by means of optimized water circulation, plays a pivotal role in reducing the temperature of these panels. This infrastructure will incorporate a Chiller System intended to cool the water in the event that the temperature exceeds the optimal threshold for proper panel operation. Moreover, the system integrates sensor devices tasked with measuring both water and panel temperatures, along with a pump for smooth water circulation.

Through this study, a meticulous analysis and comparison of panel performance will be carried out in relation to their standard conditions, considering aspects such as power output and temperature. The proposed system is automatically activated when temperatures on the panels reach elevated levels, thereby regulating their temperature and preventing power degradation throughout the day. However, it is essential to emphasize that, following a thorough economic analysis, the project is deemed financially unfeasible due to the impact of the cooling system's energy consumption.



# INTRODUCCION

En esta tesis, se aborda el desafío de mejorar la producción y eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos mediante un sistema de refrigeración a base de circulación de agua. La energía solar fotovoltaica es una fuente limpia y sostenible, pero su rendimiento se ve afectado por la temperatura. Con el objetivo de maximizar su potencial, se realizará un estudio detallado de las variables meteorológicas, se analizará el impacto de la temperatura en el rendimiento de los paneles y se diseñará un sistema de refrigeración específico. A través de mediciones y comparaciones, se evaluará la eficacia de este sistema en la producción total de energía. Además, se realizará un estudio técnico-económico para analizar su viabilidad y rentabilidad. Esta investigación proporcionará nuevos conocimientos y perspectivas en el campo de la energía solar fotovoltaica, así como posibles soluciones para mejorar su eficiencia.

## **PROBLEMA DE ESTUDIO**

La potencia de los paneles solares se ve afectada por varias causas. Una de ellas es la pérdida de potencia por altas temperaturas en el panel. Por lo tanto, se propone en este proyecto de titulación un sistema de enfriamiento a base de circulación de agua sobre el panel, con el fin de enfriarlo a través de un sistema construido y automatizado. El objetivo es reducir la temperatura del panel y evitar pérdidas de potencia y eficiencia en sistemas fotovoltaicos.

## JUSTIFICACION

La implementación de un sistema de enfriamiento basado en la circulación de agua para los paneles solares surge como una solución prometedora para abordar el desafío de la pérdida de potencia y eficiencia causada por las altas temperaturas. A medida que la demanda de energía solar fotovoltaica continúa en aumento, es crucial encontrar soluciones efectivas que maximicen la producción y rendimiento de los paneles.

Las altas temperaturas pueden tener un impacto negativo en el rendimiento de los paneles solares, reduciendo su potencia y eficiencia. En este contexto, el sistema propuesto de enfriamiento automatizado mediante la circulación de agua busca mitigar este problema al reducir la temperatura de los paneles, evitando así las pérdidas de potencia y eficiencia.

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de mejorar la producción y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, especialmente en situaciones y regiones donde las altas temperaturas son frecuentes. Además de optimizar el rendimiento de los paneles, la implementación de este sistema de enfriamiento puede prolongar la vida útil de los paneles solares al reducir el estrés térmico al que están expuestos.

A nivel económico, se espera que este sistema de enfriamiento tenga beneficios significativos al aumentar la durabilidad de los paneles y optimizar su rendimiento a lo largo del tiempo. Esto puede generar ahorros a largo plazo al minimizar las pérdidas de energía y maximizar la eficiencia del sistema fotovoltaico.

En resumen, este proyecto de implementación de un sistema de enfriamiento a base de circulación de agua para paneles solares tiene como objetivo abordar la pérdida de potencia y eficiencia causada por las altas temperaturas. La implementación de este sistema justifica su importancia al mejorar la producción, eficiencia y vida útil de los paneles solares, contribuyendo así al desarrollo de sistemas fotovoltaicos más eficientes y sostenibles.

# OBJETIVOS

## 1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la producción y eficiencia energética de paneles fotovoltaicos sometidos a un sistema de refrigeración a base de circulación de agua..

## 1. OBJETIVO ESPECIFICO

- a)* Estudiar las variables meteorológicas de la zona que intervienen en la producción de energía fotovoltaica.
- b)* Analizar el efecto de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos y como esto afecta su rendimiento.
- c)* Diseñar un sistema de refrigeración para los paneles a base de circulación del agua.
- d)* Comparar la producción energética del sistema de fotovoltaico usando el sistema de refrigeración y sin el mismo.
- e)* Realizar un estudio técnico económico del sistema de refrigeración de un panel fotovoltaico basado en la circulación del agua sobre el panel fotovoltaico.

# Capítulo 1

## CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. ESTADO DEL ARTE

En [1] menciona que los sistemas de refrigeración fotovoltaica (FV) se utilizan habitualmente para mejorar la generación de energía y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos; además requieren irradiación para generar energía, aunque el aumento de la irradiación suele estar relacionado con el aumento de la temperatura. Estos rápidos aumentos de temperatura en los paneles fotovoltaicos afectan gravemente al funcionamiento de la conversión de energía; por lo que su proceso de refrigeración adecuado en su superficie, un sistema solar fotovoltaico puede funcionar con una mayor eficiencia [1]. Los autores de [1] tienen como objetivo estudiar la mejora de la potencia de la refrigeración activa por agua en los paneles fotovoltaicos. Pulverizan un flujo de agua mínimo fijo de 5,80 l/min sobre la superficie frontal del panel para reducir la temperatura. El agua pulverizada creó una fina película de agua y consiguió reducir la temperatura. Además, también hay un panel fotovoltaico de referencia, que es un panel sin ningún sistema de refrigeración. En [1] los valores resultante que comparan son la temperatura del módulo, la potencia máxima de salida, la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. A medida que la irradiación comienza a aumentar, la temperatura del panel también empieza a dispararse. Sin embargo, con la refrigeración activa por agua, la temperatura pudo reducirse en un 37,67 % durante la temperatura más alta del día. Esta reducción de la temperatura genera una mejora de la potencia del panel refrigerado de hasta 253 W, en comparación con la potencia del panel de referencia de sólo 223 W.

Durante el sobrecalentamiento de un panel fotovoltaico, se comprobó que la tensión de circuito abierto era la más afectada. Este aumento de la potencia con la refrigeración activa por agua puede tener un impacto masivo en las instalaciones de paneles fotovoltaicos a gran escala.

En cambio, en [2] analizan los efectos de la aplicación de un sistema de refrigeración en paneles fotovoltaicos, diseñados mediante un controlador de rociado de agua para mejorar la eficiencia y aumentar la potencia. El sistema de refrigeración se instaló en paneles fotovoltaicos policristalinos de 275 W existentes. El controlador mantiene la temperatura de los paneles fotovoltaicos a 30° C contra el aumento de las temperaturas por encima de ella mediante la recirculación de agua con 31 orificios en una tubería de pvc de media pulgada que nos ayuda a formar una capa delgada de agua en la parte posterior de la superficie del panel. Las pruebas de los paneles fotovoltaicos con sistema de refrigeración se llevaron a cabo incluyendo paneles fotovoltaicos no refrigerados para su comparación. Seguidamente se analizó el efecto de la temperatura sobre la potencia de salida fotovoltaica, incluyendo las pérdidas del sistema de refrigeración, la potencia neta y el aumento de la eficiencia. Por último, se evaluó el uso general de un sistema de refrigeración por recirculación del agua en los paneles fotovoltaicos. Los resultados de las pruebas mostraron que la potencia de salida fotovoltaica con el sistema de refrigeración aumentó un 9,03 % en comparación con la fotovoltaica no refrigerada. El aumento de la temperatura por cada grado por encima de los 30 °C hizo que la potencia de salida fotovoltaica disminuyera un 0,411 %. En general, al incluir el cálculo de las pérdidas del sistema, la ganancia de potencia de salida fotovoltaica neta es del 4,09 %.

Es importante analizar que, debido a la escalada del precio de los combustibles fósiles por la disminución de sus reservas, el mundo está concentrando su atención en los recursos energéticos renovables. La energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar incidente directamente en electricidad. De la radiación incidente, el 80 % de la radiación es absorbida por la fotovoltaica. Una parte se utiliza para generar electricidad y el resto se convierte en calor. En estas condiciones, la refrigeración del panel fotovoltaico es necesaria para mantener el rendimiento y la vida útil del mismo. Las técnicas de refrigeración pasiva dan lugar a temperaturas no uniformes en las células. La refrigeración forzada puede resolver el problema hasta cierto punto. El método de refrigeración por agua de tipo tubo de serpentina se emplea en la parte inferior de un panel fotovoltaico con espejos de concentración. En conjunto se convierte en un

CPV/T (Concentrated Photovoltaic/Thermal). Mediante la detección de la temperatura de la superficie, se propone una bomba para hacer circular el agua en el presente sistema. El límite de temperatura se establece en 50 °C, por encima del cual la bomba funciona durante un tiempo determinado. Dentro de ese tiempo, la temperatura desciende por debajo del límite y, por tanto, la temperatura de funcionamiento de la CPV (Concentrated Photovoltaic) puede mantenerse dentro de los límites especificados [3].

El Sol es la fuente de energía renovable más destacada, mientras que la energía fotovoltaica (FV) es el producto de recolección de energía solar más popular. Una pequeña parte de la radiación solar se convierte en energía eléctrica, y el resto se refleja, se transmite y se convierte en calor, lo que da lugar a la generación de calor en el módulo fotovoltaico. La eficiencia del módulo fotovoltaico disminuye debido a las altas temperaturas de funcionamiento. Para aumentar la eficiencia global del módulo fotovoltaico, se incorpora la técnica de refrigeración activa. En la parte posterior del módulo fotovoltaico hay un depósito fijo por el que fluye el refrigerante de agua. Se desarrolla y prueba un modelo tridimensional de dinámica de fluidos computacional (CFD) para la transferencia de calor en estado estacionario. Este análisis numérico aborda la transferencia de calor a través del módulo fotovoltaico y proporciona una visión de la intensidad de la extracción de calor del módulo gracias al sistema de refrigeración activa. El modelo numérico desarrollado predice los parámetros de salida basándose en tres parámetros de entrada que pueden variarse a voluntad sin necesidad de activar la simulación CFD. La fuente de calor, la velocidad de entrada del refrigerante y la temperatura ambiente son los parámetros de entrada que se varían, mientras que la temperatura de entrada del refrigerante se fija en 290 K. La temperatura media del módulo fotovoltaico, la caída de presión en el tanque y la temperatura de salida del refrigerante son los parámetros de salida. Para crear una superficie de respuesta, se crean 30 puntos de diseño, cada uno de los cuales representa una combinación única de los parámetros de entrada. Las predicciones de los parámetros de salida se realizan a partir de la superficie de respuesta generada y se comparan con los resultados de la simulación para 30 puntos de diseño. La desviación media de las predicciones, generadas a partir de la superficie de respuesta, es inferior al 1% cuando se compara con los resultados de la simulación para los puntos de diseño [4].

El sistema fotovoltaico flotante es una nueva tecnología de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar. En el sistema FV, los paneles solares se sitúan sobre el agua en lugar de en tierra para aumentar su eficiencia de generación. Los paneles fotovoltaicos estarán a una temperatura más baja debido

al efecto de refrigeración del agua. Tienen un coeficiente de temperatura de potencia negativo. Por tanto, la generación de energía aumenta a medida que disminuye la temperatura de los paneles. Las centrales fotovoltaicas montadas en el suelo requieren un terreno enorme, por lo que será difícil instalarlas en las ciudades metropolitanas. En cambio, la planta FV no requiere un terreno enorme, ya que todo el sistema flotará en la masa de agua y, por tanto, se ahorrará un terreno precioso. La planta FV también tiene un impacto medioambiental positivo, ya que reduce significativamente la tasa de evaporación del agua y la proliferación de algas. En [5] presentan un análisis tecno-económico de una planta FV propuesta de 1 MWp en el lago Ambazari, Nagpur, estado de Maharashtra, India. La eficiencia de generación de la planta FV será un 2,5-3 % más que la planta fotovoltaica de tipo convencional montada en el suelo y se ahorrarán 191 millones de litros de agua al año de la evaporación. La generación de energía y el coste de la electricidad resultan ser de unos 1.614 MWh al año y 3 INR/kWh para la ubicación seleccionada. La planta FV se encargará de reducir la diferencia entre la demanda y el suministro de energía eléctrica. Proporciona más beneficios medioambientales en comparación con las plantas solares fotovoltaicas montadas en el suelo.

## 1.2. ANTECEDENTES

Un sistema solar fotovoltaico proporciona una energía eléctrica más confiable y asequible a gran escala. Sin embargo, la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos es demasiado baja, llegando hasta un 15 % a nivel comercial. Por lo tanto, mejorar la eficiencia de los paneles solares existentes se ha considerado como uno de los principales retos de investigación. Los autores de [6] han propuesto un diseño innovador para mejorar la eficiencia operativa de los paneles fotovoltaicos mediante la integración de un sistema de enfriamiento basado en la refrigeración por agua. Los resultados de las pruebas se han obtenido mediante la implementación del sistema de refrigeración por agua propuesto en un banco de pruebas. Como resultado, se ha observado que la eficiencia de los paneles fotovoltaicos mejora en aproximadamente un 34 % y un 28 % respecto a su eficiencia anterior con la integración de un mecanismo de refrigeración en condiciones de vacío y de carga, respectivamente en [6].

Por otro lado, la energía solar instalada en el agua del mar tiene ventajas en comparación con la instalada en tierra, como una fuente solar buena y sin sombras por los edificios o las plantas, una mejor refrigeración y una mejor utilización de la superficie que las tierras, pero también sufre de otros escenarios



como la corrosión del agua del mar, la perturbación de las olas y las mareas. En [7], se trata sobre un proyecto de generación de energía solar con agua de mar. Se examina la configuración del sistema de energía solar para el agua de mar. Se analiza el diseño de las células solares, la distribución de la energía de conexión, la protección, el impacto ambiental y la gestión de la energía en tierra.

En [8], proponen un estudio similar al anterior, solo que, para analizar las características precisas de generación de energía del sistema fotovoltaico flotante, se instalan los mismos sistemas FV de 2,5 kW en la superficie del agua de la presa y en el terreno cercano, y se compara su rendimiento. Las características de salida de la generación de energía fotovoltaica flotante según el cambio de la temperatura del agua se analizan mediante la técnica estadística de probabilidad en detalle, y se verifica que la baja temperatura del módulo del sistema fotovoltaico flotante es causada por el efecto de enfriamiento de la superficie del agua. A partir del estudio comparativo entre ambos, se confirma que la temperatura del módulo fotovoltaico flotante es menor que la del fotovoltaico terrestre, por lo que la eficiencia de la generación de energía fotovoltaica flotante es mayor que la de la generación de energía fotovoltaica en tierra.

Además, en [9], presentan un sistema de concentración solar fotovoltaico/térmico (CPV/T) combinado con un dispositivo de refrigeración, que ha llamado la atención por su alta eficiencia de conversión fotoeléctrica. Sin embargo, la distribución desigual de la irradiación en la superficie de la célula fotovoltaica puede dar lugar a una distribución desigual de la temperatura de la superficie de la célula, lo que a su vez puede provocar una disminución en la generación de energía. Los autores establecen tres módulos de simulación diferentes basados en los resultados del análisis de la simulación óptica de la lente Fresnel, el modelo eléctrico equivalente de la célula solar y los resultados del análisis de simulación de la refrigeración por chorro en un sistema CPV/T. A través de la simulación de 100 grupos de componentes de células conectados en serie, se obtienen las siguientes conclusiones: la irradiación solar, la temperatura y el caudal másico de agua circulante son los principales factores que afectan el rendimiento del sistema CPV/T basado en la refrigeración por chorro. El aumento de la intensidad de la irradiación es beneficioso para mantener una mayor producción de potencia fotovoltaica. La falta de homogeneidad de la temperatura del sistema CPV/T con la existencia de la refrigeración por chorro disminuye, lo que es beneficioso para mejorar el rendimiento del sistema. Por último, el aumento de la tasa de flujo de masa mejora la estabilidad del sistema en general, pero se recomienda establecer la tasa de flujo de masa óptima entre

0,08 kg/s y 0,1 kg/s después de una consideración exhaustiva.

## 1.3. MARCO TEÓRICO

### 1.3.1. Energía solar

La energía solar es una energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del Sol se trata de una energía renovable porque se obtiene de una fuente natural e inagotable, en este caso el Sol es una fuente de energía limpia que tiene un potencial enorme, este astro proporciona energía para la conservación de la vida en el planeta. Además, es de vital importancia la luz solar ya que llega continuamente a la superficie del planeta y no contamina. Por lo tanto, es importante aprovechar la energía que llega directamente y ayuda a resolver problemas energéticos. [10]

### 1.3.2. Radiación Solar

La energía proveniente del sol, se denomina energía solar, aunque se conoce como radiación solar. La radiación solar, que recibe la tierra es del orden de  $1,5 * 10^{18} \text{ kilovatios}(kW)$  por hora, esto se traduce en un suministro de energía capaz de soportar el consumo mundial. Ante estos datos, se concluye que se dispone de una fuente de energía con un enorme potencial, además se trata de una energía renovable. Pero a la hora de trabajar con dicha fuente de energía aparecen inconvenientes, como: la forma de captación, de almacenaje; además de presentar variaciones debido a las condiciones: meteorológicas, ambientales y geográficas. La radiación solar emitida por el sol, llega a la atmosfera de la Tierra considerablemente debilitada (aproximadamente  $1360W/m^2$ ), debido a la distancia entre el sol y la tierra. Después dicha radiación sufre una atenuación debido a la capa atmosférica, por lo que la radiación en la superficie terrestre es de aproximadamente  $1000W/m^2$ . [11]

#### 1.3.2.1. Tipos de Radiacion Solar

En [11] menciona que existe tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden los rayos del sol sobre la Tierra como se muestra en la figura 1.1:

- **Directa:** Es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. [11]
- **Difusa:** Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.[11]
- **Reflejada:** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.[11]

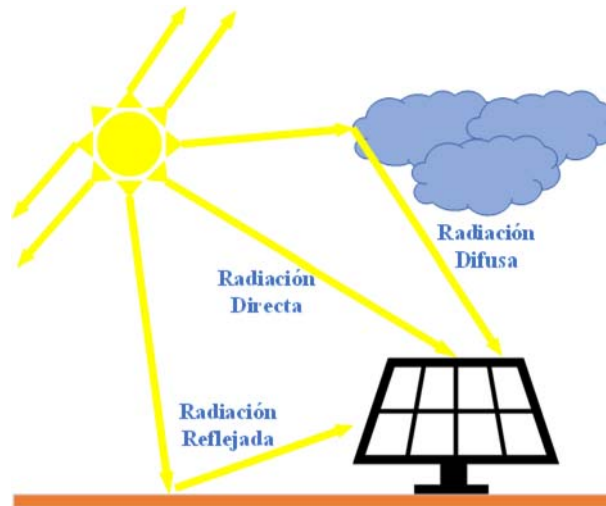


Figura 1.1: Tipos de radiación [11].

De entre los tres tipos, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas y fototérmicas. Aunque en días nublados (por cuestiones meteorológicas) en las cuales no se recibe radiación directa (o debido a otro obstáculo), se continúa recibiendo radiación solar sobre la superficie debido a la radiación difusa, A dichos días se les denomina días de poca radiación solar. En consecuencia, la radiación solar total, será la suma de todos los tipos de radiaciones. [11]

Se muestra en la siguiente ecuación:

$$RadiacionTotal = RadiacionDirecta + RadiacionDifusa + RadiacionReflejada \quad (1.1)$$

### 1.3.2.2. Unidades de radiación solar

Para los cálculos de dimensionado se debe dar un valor de radiación solar, y sus unidades son los  $kW/m^2$ , aunque también se utilizan la unidad de potencia Jules (J) [11].

Para obtener el valor de la radiación solar de una determinada zona se puede tener en cuenta:

- **Irradiancia:** Se define como el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado. Se expresa normalmente en  $W/m^2$ , aunque también se expresa en  $kW/m^2$ . [11]
- **Irradiación:** Se define como la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo. Se expresa en  $Wh/m^2$  o también por  $J/m^2$ , mediante la conversión de unidades. [11]

La ecuación 1.2, relaciona la potencia con la energía, es la siguiente en donde las unidades de la energía son los Megajules (MJ) y la de potencia los kilovatios hora (kWh), la ecuacion es obtenida por la referencia [11].

$$1kWh = 3,6MJ \quad (1.2)$$

### 1.3.3. Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica

En la figura 1.2 muestra si la luz solar incidente tiene el espectro y el nivel de energía requerido por el material semiconductor del que está hecha la célula FV, el bombardeo de los fotones crea pares de cargas libres. Algunos de estos pares se recombinan antes de migrar a la zona de juntura, pero un elevado porcentaje de electrones del lado p y de hoyos del lado n son impulsados a través de la juntura. La dirección del campo eléctrico en la juntura hace que estas cargas no puedan volver, alterándose el estado de equilibrio. Las cargas libres están listas para sostener una corriente cuando se conecten al lado n y p a una carga eléctrica externa. [12]

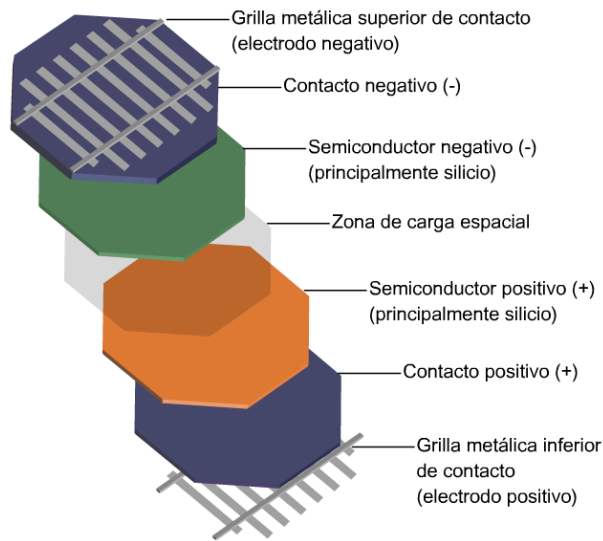


Figura 1.2: Estructura de una célula fotovoltaica [12].

#### 1.3.4. Paneles Solares Fotovoltaicos

La energía fotovoltaica consiste en la conversión de la radiación solar en electricidad a través de materiales semiconductores, para ello se utilizan paneles solares formados de un alto número de células solares que contienen un material fotovoltaico, la estructura del panel se muestra en la figura 1.3. Entre los materiales más utilizados para la fabricación de paneles solares fotovoltaicos, se encuentran el silicio mono cristalino, silicio poli cristalino, silicio amorfo, telurio de cadmio, seleniuro de cobre, indio y galio.[13]

El principio físico detrás de la conversión de la energía solar en electricidad, como una base en la transferencia de la energía solar al electrón más externo de las células fotovoltaicas para que pueda moverse de la banda de valencia a la banda de conducción del material, así generando electricidad. Los materiales semiconductores que conforman los distintos tipos de paneles fotovoltaicos poseen la capacidad de absorber una parte del espectro solar, así el uso combinado de varios materiales permite aprovechar una mayor parte del espectro electromagnético de la radiación solar. [14]

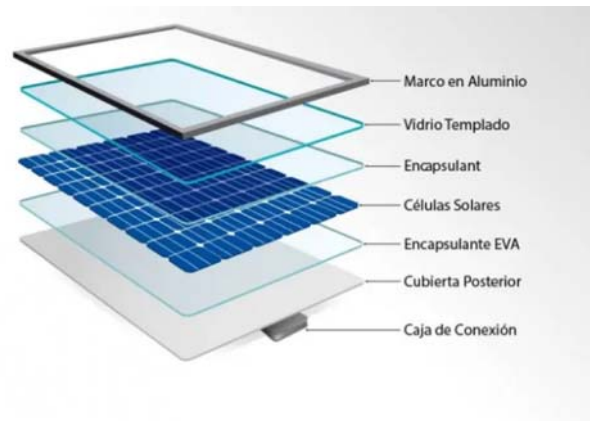


Figura 1.3: Estructura de un Panel Solar [14].

### 1.3.5. Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos

De acuerdo al material y tipo de fabricación existen dos tipos principales de paneles fotovoltaicos:

#### 1.3.5.1. Silicio puro monocristalino

Los paneles solares monocristalinos como en la figura 1.4 son las tecnologías más antiguas y utilizadas actualmente, su estructura ordenada se forma a partir de un sólido de silicio puro con boro cristalino intacto, su fabricación requiere de mucho tiempo y energía, se cortan a partir de cristales individuales grandes que han sido cuidadosamente contruidos bajo condiciones controladas, teniendo a si un valor 53 económico mayor respecto a otras tecnologías. La eficiencia de las celdas puede ser de 14 %, 16 % e incluso de un 18 % aunque se prevé una pérdida de eficiencia a medida que la temperatura supere los  $25^{\circ}C$ , lo que genera que en lugares de elevadas temperaturas, se recurra a equipos de refrigeración debajo de los paneles monocristalinos. [15]



Figura 1.4: Panel Monocristalino [15].

### 1.3.5.2. Silicio puro policristalino

Las tecnologías basadas en celdas policristalinas como en la figura 1.5 se forman esencialmente por una red cristalina, su color y forma característica, el tamaño de su estructura puede variar en milímetros, llegando incluso a micras de cristales, estos son separados por un borde de grano defectuoso, en la industria estos materiales no exigen alto grado de pureza, aprovechando así el sobrante de la producción en la fabricación de paneles fotovoltaicas monocristalinas, siendo más económicas respecto a otras tecnologías, el tamaño y calidad determinarán el desempeño de la celda. [15]

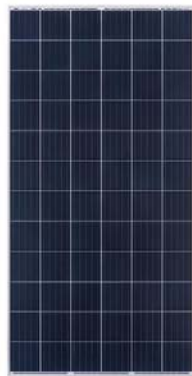


Figura 1.5: Panel Policristalinos [15].

### 1.3.6. Curvas Características de Paneles Fotovoltaicos

Las características de la curvas de corriente contra voltaje (I-V) de una celda solar irradiada se pueden observar en la Figura 1.6. El rango de funcionamiento de una celda solar abarca desde  $V = 0$  ( $I_{sc}$

corriente de cortocircuito) hasta  $V_{oc}$  ( $I = 0$  corriente de circuito abierto), exclusivamente en estos dos puntos, la celda no provee potencia eléctrica.  $V_{oc}$  representa el máxima voltaje proporcionado por la celda a corriente cero (sin carga o en vacío), mientras que  $I_{sc}$  representa la máxima corriente disponible con voltaje cero (carga en cortocircuito). Para  $V < 0$  la celda consume potencia para generar una fotocorriente, la cual da inicio a la emisión de luz. Las resistencias serie  $R_s$  como paralelo  $R_p$  deterioran la forma de la curva comparada con el rectángulo definido por los valores  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ . Para obtener celda eficientes se requiere resistencia serie  $R_s < 1\Omega$  y  $R_p > k\Omega$  teóricamente. [16]

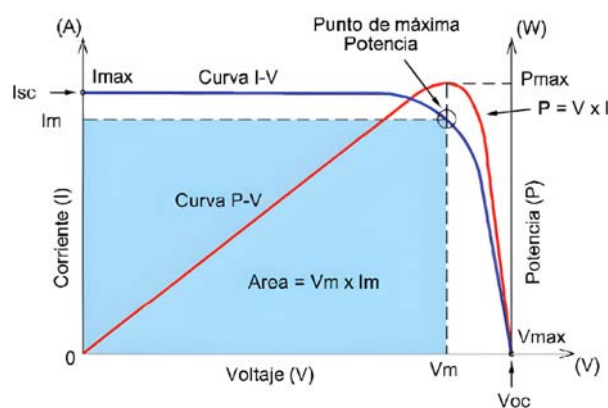


Figura 1.6: Curvas características I-V y P-V de una celda fotovoltaica [16].

### 1.3.7. Factores que afectan el comportamiento del panel fotovoltaico

El comportamiento de las células fotovoltaicas es estudiado por medio de varios parámetros, algunos más directos de medir y por tanto más utilizados como la Potencia en el Máximo Punto de Potencia ( $P_{mpp}$ ). Además importa el valor de tensión en circuito abierto que va a ser el voltaje a los terminales del panel fotovoltaico cuando este sin carga, y que es necesario para el dimensionamiento de los otros componentes, ya que tienen que soportar este valor de tensión cuando la carga es nula. Otro parámetro importante es la corriente en corto circuito que sirve para dimensionar los sistemas de protección. El valor de la corriente del máximo punto de potencia ( $I_{mpp}$ ) tiene aproximadamente un valor de 95 % de la corriente de corto circuito y la tensión en el máximo punto de potencia un 80 % del valor de circuito abierto. [17]

Pero estos parámetros de salida del panel solar dependen de condiciones externas como lo son la radiación y la temperatura en el panel, condiciones que varían sin excepción y que dependen del entorno. [17]



### 1.3.7.1. Efecto de la Radiación

La radiación influye directamente sobre la corriente del panel fotovoltaico, esta última es directamente proporcional. La imagen 1.7 se puede observar este efecto. Además de la corriente la tensión se ve afectada también por la radiación pero en menor grado es despreciable. [17]

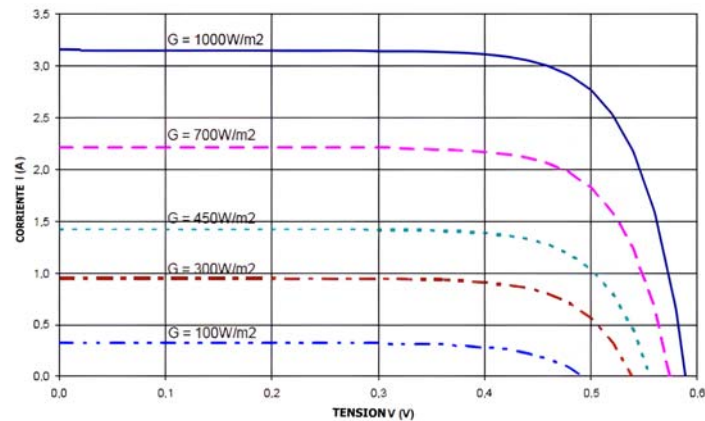


Figura 1.7: Efecto de la Radiación en la Curva I-V [17].

### 1.3.7.2. Efecto de la Temperatura

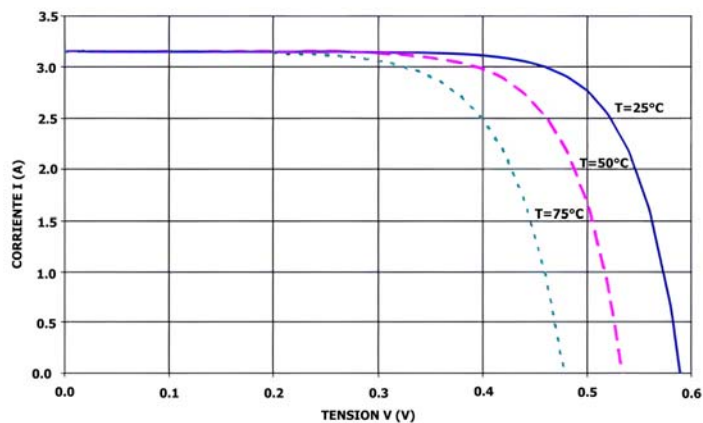


Figura 1.8: Efecto de la Temperatura [17].

El efecto de la temperatura afecta de mayor manera a la tensión de circuito abierto y cuando la temperatura aumenta la tensión disminuye, la corriente ve un pequeño aumento en su valor debido al

aumento de la temperatura. Esto no es así en todos los módulos teniendo efectos diferentes en diferentes tecnologías, imagen 1.8. [17]

### 1.3.8. Tecnologías de refrigeración aplicadas en paneles fotovoltaicos

El objetivo principal de la tecnología de refrigeración solar fotovoltaica es capturar convertir el calor generado por los rayos solares en energía utilizable. La mejor manera de lograr esto es mediante el uso de un sistema de refrigeración activo o pasivo. Los sistemas activos necesitan una fuente externa de energía y equipos adicionales, como bombas o ventiladores, para hacer circular el medio refrigerante. Sin embargo,son más efectivos en términos de tasas de transferencia de calor de enfriamiento.[18]

Los sistemas pasivos no requieren equipo mecánico adicional ni una fuente de alimentación externa para impulsar el sistema de refrigeración. Esto conduce a una estructura más simple y menores costos de mantenimiento.[18]

#### 1.3.8.1. Refrigeración con Aire

Los sistemas de refrigeración por aire se suelen aplicar en diferentes dispositivos con el fin de reducir la temperatura. Aunque el uso de aire como refrigerante no es tan eficiente como los líquidos, existen algunas ventajas en este tipo de enfriamiento, como la utilización mínima de material y el bajo costo operativo.[18]

En la Figura 1.9 se muestra el modelo de un sistema de refrigeración con aire.

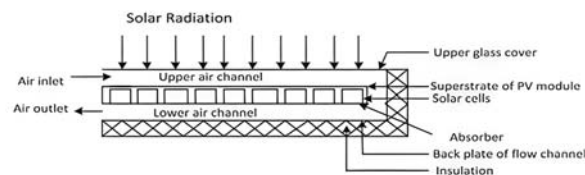


Figura 1.9: Módulo fotovoltaico refrigerado por aire [18].

### 1.3.8.2. Refrigeración con Agua

La disponibilidad de agua y su capacidad de transporte de calor ha hecho posible que se implante para la refrigeración activa de los paneles fotovoltaicos. Sin embargo, el sistema fotovoltaico debe ser resistente a la corrosión y la instalación también debe ser hermética [19]. La aplicación industrial de la tecnología de refrigeración por agua es más costosa que su contraparte de refrigeración por aire, pero posee la capacidad de extraer más calor de las superficies fotovoltaicas [19]. Existen gran variedad de configuraciones para instalar un sistema de refrigeración por agua, en la Figura 1.10 se muestra un modelo de este sistema. La disponibilidad de agua y su capacidad de transporte de calor ha hecho posible que se implante para la refrigeración activa de los paneles fotovoltaicos [19]. Sin embargo, el sistema fotovoltaico debe ser resistente a la corrosión y la instalación también debe ser hermética. La aplicación industrial de la tecnología de refrigeración por agua es más costosa que su contraparte de refrigeración por aire, pero posee la capacidad de extraer más calor de las superficies fotovoltaicas [19]. Existen gran variedad de configuraciones para instalar un sistema de refrigeración por agua, en la Figura 1.10 se muestra un modelo de este sistema. [19]

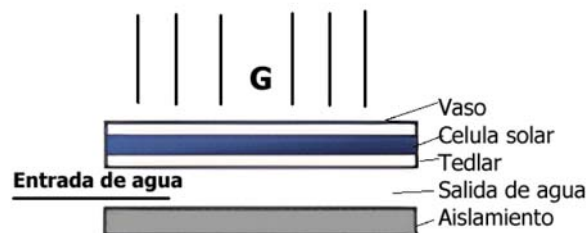


Figura 1.10: Refrigeración por agua aplicada a los módulos fotovoltaicos [19].

### 1.3.8.3. PCM

Los PCM que significa materiales de cambio de fase se utilizan en módulos fotovoltaicos para reducir la temperatura de la celda absorbiendo calor durante la fusión y liberando calor cuando se congela y viceversa. La temperatura de trabajo varía en un rango muy amplio, el cual va de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El principal inconveniente de los materiales de cambio de fase es la baja conductividad térmica que se encuentra en el rango de 0.2 a 0.4 (W/mK). [20]

En la Figura 1.11 se muestra el proceso que experimenta un PCM con los cambios de temperatura.

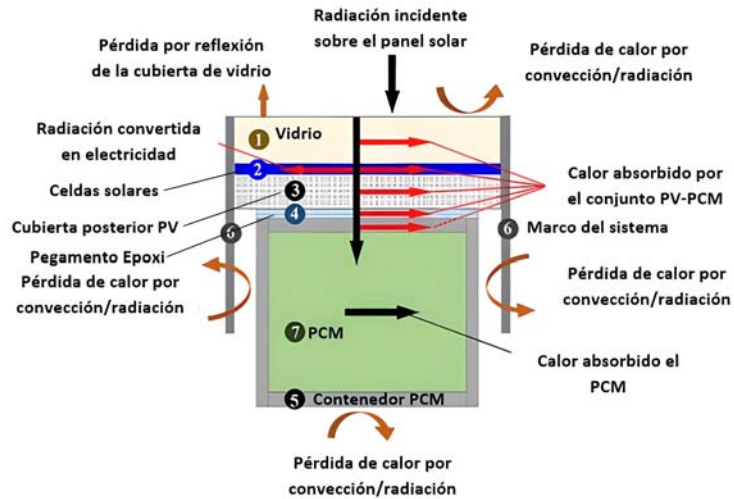


Figura 1.11: Esquema de un sistema PVT con PCM [20].

#### 1.3.8.4. Nanofluidos

Se definen como una mezcla de nanopartículas de un diámetro que oscila entre 1 nm y 100 nm, dispersas eficientemente en un fluido base que puede ser agua, aceite térmico, etilenglicol, entre otros. Las propiedades de los nanofluidos, como la viscosidad, la conductividad térmica, el coeficiente de transferencia de calor, el calor específico y la capacidad calorífica, juegan un papel muy importante para mejorar el rendimiento del sistema. Los nanofluidos con alta conductividad térmica mejoran la tasa de transferencia de calor y, en última instancia, la eficiencia general del sistema.[21]

En la Figura 1.12, se ilustra un sistema convencional que emplea nanofluidos como sistema de enfriamiento. En este caso, se dirige el flujo del nanofluido debajo del módulo fotovoltaico, con el objetivo de absorber el calor mediante convección y disminuir así la temperatura. [21]

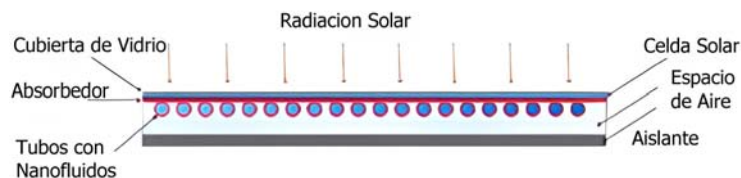


Figura 1.12: Refrigeración por nanofluidos aplicado a módulos fotovoltaicos [21].

#### 1.3.8.5. Refrigeración por Tubos de Calor

Los tubos de calor son dispositivos de funcionamiento pasivo, tienen una gran conductancia térmica y son muy efectivos en el transporte de calor a grandes distancias presentando una caída de temperatura

muy baja [22]. Este elemento consta de tres partes, un evaporador, una sección de transferencia adiabática y un condensador con fluido de trabajo en el interior[23]. Los tubos de calor son utilizados principalmente en la refrigeración electrónica [24]. Para esta aplicación consisten en un tubo de metal hueco con una mecha porosa en la superficie interior como se muestra en la Figura 1.13 [24]. En un tubo de calor, el líquido de trabajo llena el interior del tubo, el cual transfiere calor continuamente a través de un ciclo producido por evaporación en la sección de calentamiento y condensación en la sección de enfriamiento[24].

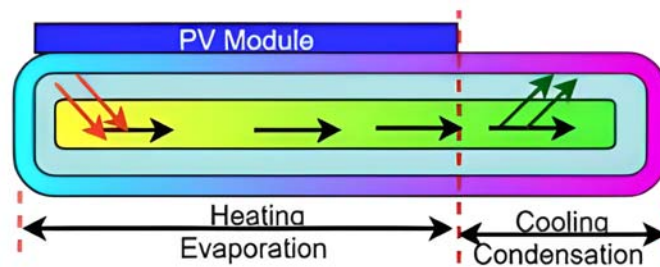


Figura 1.13: Diagrama esquemático de refrigeración de un módulo fotovoltaico por tubo de calor [24].

### 1.3.8.6. Refrigeración Agua/Aire

Este tipo de tecnología utiliza los fluidos de agua y aire simultáneamente para la refrigeración del módulo. La distribución básica de este tipo de sistemas es que por encima de las celdas solares va un fluido y en el lado posterior pasa el otro fluido, las combinaciones posibles de estos sistemas es (A) aire/agua o (B) agua/aire como se muestra en la Figura 1.14 [25].

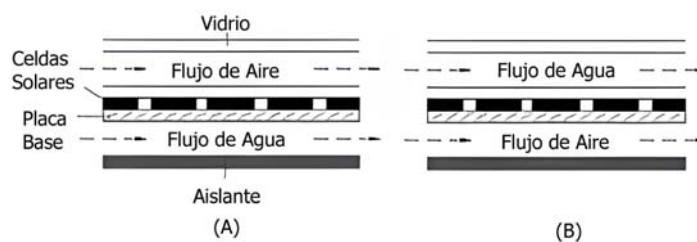


Figura 1.14: Configuración de sistemas de refrigeración agua-aire [25].

### 1.3.9. Sistema de enfriamiento por Agua

El sistema Chiller, es un “enfriador indirecto” utilizado en la industria para enfriar o calentar según las necesidades que requieran la utilización del mismo, entre los más usados actualmente están los CFC (Clorofluorocarbonos) y HCFC (Hidroclorofluorocarbonos), basados en curvas de operación [26]. Algunos

especialistas, señalan que, usar este sistema ayuda a disminuir fugas e incluso evitar recalentamiento del equipo primario; además, el Chiller se caracteriza por ser un refrigerador de líquido, puesto que su sistema trabaja mediante el intercambio térmico [26].

Entre las características principales se destacan las siguientes:

- En caso de que el equipo principal esté operando en modo de calentamiento, el sistema puede actuar como una bomba de calor, transmitiendo el calor y manteniendo el líquido caliente.
- Del mismo modo, si el equipo principal se encuentra en modo de enfriamiento, el sistema es capaz de mantener el líquido refrigerado.

#### **1.3.9.1. Funcionamiento**

En cuanto al funcionamiento, es imprescindible saber que los sistemas de agua helada son la solución más rápida para requerimientos de aire; por ende, es importante que puedan ser drenados; ante esto [27] señala que los especialistas en esta área deben tomar en cuenta que los principales métodos de enfriamiento industrial de este sistema son absorción y compresión. Esto implica que en el proceso industrial del ciclo de refrigeración, el compresor extrae el refrigerante y lo comprime, dirigiéndolo luego al condensador. En el condensador, el gas caliente proveniente del compresor se libera hacia un medio refrigerante, como el agua o el aire, lo cual permite que el calor extraído se disipe y el refrigerante se condense a alta presión. Si bien es cierto, el refrigerante líquido puede ser transmitido hacia la vulva de expansión y a su vez ser inyectado en el evaporador, produciendo que el ciclo sea reiniciado [26].

#### **1.3.9.2. Partes Principales de un Sistema Chiller**

El sistema Chiller está compuesto por las siguientes partes importantes para su correcto funcionamiento mejor compresión observar la imagen 1.15:

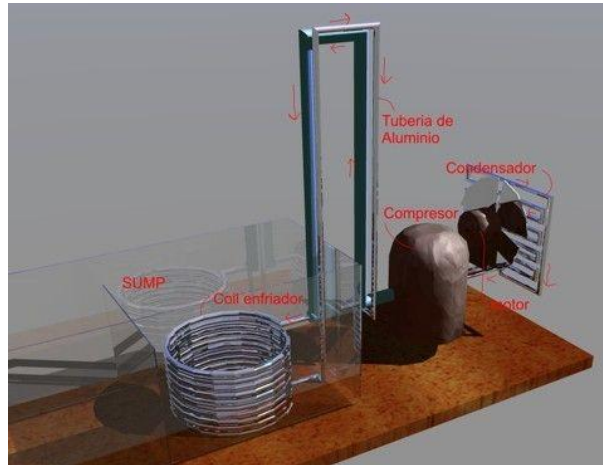


Figura 1.15: Partes de una sistema Chiller [27].

- **Compresor:** Se considera como la parte esencial del Chiller, puesto que se encarga de generar la presión, que permite al refrigerante trabajar de manera indefinida. Su función principal es ayudar que la presión y la temperatura se eleven en forma de gas y de esta manera dirigirlo hacia el condensador[27].
- **Condensador:** Su función principal es transformar el refrigerante de un estado gaseoso al líquido, logrando rechazar niveles de calor extraídos del equipo primario, el mismo proceso se realiza al tratarse de agua[27].
- **Filtro de humedad:** Ayuda a la eliminación de partículas sólidas que se encuentran obstruyendo el sistema 19[27].
- **Válvula de expansión:** La válvula ayuda a controlar el paso del refrigerante; el refrigerante es dirigido por el sistema perteneciente al aire acondicionado y La presión circula mediante bobinas del evaporador. El resultado del proceso es el enfriamiento el refrigerante.[27].

# Capítulo 2

## CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Análisis para la instalación de los Paneles fotovoltaicos.

Los parametros que se tomaran en cuenta, para la colocacion de los paneles solares, serian los siguientes:

- Temperatura y Radiación en el Cantón Paute.
- Inclinación y posición óptimos del panel solar.

#### 2.1.1. Ubicación

Paute es el lugar seleccionado para la colocación de los panales, más precisamente en la terraza del domicilio de uno de los autores, situado en el centro del cantón.



Figura 2.1: Ubicación de los Paneles Solares.



## 2.1.2. Temperatura Local y Radiación Solar

En un estudio realizado por estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana para una ubicación óptima de centrales de generación fotovoltaica en la sierra considerando la restricción de temperatura y radiación, nos da valores de temperatura y radiación en la provincia del Azuay [28].

Provincia	Cantón	Temperatura promedio diaria [°C]		Temperatura promedio del aire al año [°C]	Temperatura promedio del aire diaria [°C]	Radiación global promedio (kW/m <sup>2</sup> *día)	Radiación global promedio (kW/m <sup>2</sup> *año)	Nubosidad %		Ubicación
		Mínima	Máxima					Mínima	Máxima	
AZUAY	Sigsig	7	19	10.1	12.1	4.601	1709	9	55	-3.0440113, - 78.8001681
	Santa Isabel	12	25	21.3	21.3	5.076	1736.1			-3.276987, - 79.3232203
	Paute	7	17	14.1	14.1	5.026	1695.3			-2.7965426, - 78.7669499
	Gualaceo	7	16	12.6	12.6	4.666	1699.9			-2.8915446, - 78.7928726
	La Girón	12	20	18.1	18.1	4.804	1676.6			-3.1609, - 79.1574384
	Cuenca	7	17	15.1	15.1	4.961	1424.1			-2.892183, - 79.0243997
	San Fernando	3	16	15.1	15.1	4.45	1581.9			-3.1436947, - 79.2644067
	Nabón	7	17	14.9	14.2	5.067	1706.6			-3.3359617, - 79.0682066
	Chordeleg	7	17	13.3	13.4	4.615	1694.5			-2.92504, - 78.7879587
	El Pan	12	25	11.4	11.4	4.571	1462.3			-2.7862827, - 78.6727096
	Sevilla de Oro	7	15	12.5	12.5	4.548	1518.6			-2.7986942, - 78.6597061
	Guachapala	7	16	12.3	12.3	4.908	1797.3			-2.7700648, - 78.7157106
	Pucara	12	17	12.5	12.5	4.893	1570			-3.2245394, - 79.4768165
	Oña	20	25	15.9	15.9	5.322	1794.6			-3.4696236, - 79.157728
Camilo Ponce Enrique	19	29	24.8	24.8	3.754	1290.3	-3.0605351, - 79.7561122			

Figura 2.2: Datos Temperatura y Radiación en el Azuay

En la Figura 2.2 se observa que los datos de temperatura promedio y radiación del cantón Paute son muy parecidos a los de la ciudad de Cuenca lo que nos sirve para el posterior análisis de implementación de los paneles.

## 2.1.3. Inclineración y posición óptima del panel solar en Paute

Para maximizar la captación de irradiación solar anual en la ciudad de Cuenca Ecuador, los autores recomiendan que las superficies de captación solar se orienten 35° con respecto al Norte, con una inclinación de 15°. Estos resultados difieren de manera importante con respecto a la literatura tradicional debido a que en este estudio se consideran variables climáticas medidas en el sitio por un periodo de 3 años [29].

Anteriormente en la Figura 2.2 se analizó que los datos de la ciudad de Cuenca son similares a los del cantón Paute ya que se encuentra a 39km de distancia. Se debe que los cantones aledaños a la ciudad, contiene semejante característica. El análisis realizado por los autores en [29] como referencia para la

colocación de los paneles en el cantón paute, ya que el lugar donde se va implementar se asemeja en gran medida al de los autores en [10].

## 2.2. Dimensionamiento de la Bomba de agua para el sistema de enfriamiento por recirculación

### 2.2.1. Caudal del agua para un sistema de enfriamiento de paneles fotovoltaicos

El aumento de la temperatura de funcionamiento del panel fotovoltaico provoca una reducción considerable de su tensión de salida y un pequeño aumento de su corriente de funcionamiento. Como resultado, los paneles fotovoltaicos sometidos a altas temperaturas pueden perder alrededor del 7% de su potencia de salida.

Considerando los datos obtenidos para cada flujo de agua utilizado en el sistema de enfriamiento, se observa que la mayor ganancia de energía se produjo al aplicar el agua en el panel con un flujo de 0,61 litros/minuto. Sin embargo, se notó que la ganancia obtenida con el menor flujo (9,94 litros/minuto) presentó una diferencia porcentual de potencia baja en comparación con la ganancia obtenida con el flujo de 0,61 litros/minuto. Esto sugiere que el enfriamiento de los paneles con el flujo de 0,14 litros/minuto es más adecuado para lograr una mayor eficiencia con la menor cantidad de agua utilizada en el proceso de enfriamiento [30].

<b>Var.</b> \ <b>Caudal (L/min)</b>	<b>0.14</b>	<b>0.38</b>	<b>0.61</b>	<b>1.1</b>
<b>P. Con (W)</b>	199	187.6	183.9	202.4
<b>P. Sin (W)</b>	181	171.1	164.2	184
<b>P. Ganancia (W)</b>	18	16.5	19.7	18.4
<b>Ganancia (%)</b>	9.94	9.64	11.99	10

Figura 2.3: Relación entre potencia y caudal [30].

Del análisis de los datos de la figura 2.3, se desprende que el caudal de 0,14 litros/min es el más adecuado para la refrigeración de los paneles.[29]

## 2.2.2. Cálculo de Potencia de una bomba sumergible para un sistema de bombeo.

Es importante tener en cuenta algunas consideraciones adicionales al dimensionarla para el sistema de circulación de agua. Las bombas sumergibles son aquellas diseñadas para operar bajo el agua, generalmente sumergidas en el líquido que desean bombear. Para calcular la potencia requerida de la bomba sumergible, además de conocer el caudal, el valor obtenido es 0,14 L/min, se necesitan conocer la altura de bombeo y la eficiencia de la bomba:

- Altura de bombeo (o elevación): Es la diferencia de altura vertical entre el punto de succión de la bomba (por ejemplo, el fondo de un pozo o tanque) y el punto de descarga (por ejemplo, la salida en la parte superior). Esta altura se mide en metros (m).
- Eficiencia de la bomba ( $\eta$ ): Es un valor que representa la eficiencia con la que la bomba convierte la potencia de entrada en energía de bombeo. La eficiencia se expresa como un decimal entre 0 y 1.

Con esta información, podemos calcular la potencia requerida (P) de la bomba sumergible utilizando la fórmula mencionada anteriormente:

$$P = \frac{(Q \cdot \Delta P)}{\eta} \quad (2.1)$$

Donde:

- P es la potencia requerida por la bomba en vatios (W).
- Q es el caudal en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) que ya tenemos.
- $\Delta P$  es la diferencia de presión requerida para superar la pérdida de carga en el sistema, que en este caso corresponde a la altura de bombeo.
- $\eta$  es la eficiencia de la bomba, que se proporciona por el fabricante de la bomba o se puede estimar según el tipo y tamaño de la bomba.

Es fundamental conocer la altura de bombeo y la eficiencia de la bomba específica para realizar el cálculo exacto de la potencia requerida, con esta información podemos calcular la diferencia de presión requerida ( $\Delta P$ ) para superar la pérdida de carga en el sistema debido a la altura de bombeo. La diferencia de presión requerida ( $\Delta P$ ) se calcula como la altura de bombeo multiplicada por la densidad del agua y la aceleración debido a la gravedad, como se menciono anteriormente:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.2)$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del agua (aproximadamente  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).
- $g$  es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).
- $h$  es la altura de bombeo en metros (m).

Ahora que tenemos el valor de  $\Delta P$ , podemos utilizar la fórmula de la potencia requerida de la bomba (P), pero es importante tener en cuenta que este cálculo es solo una estimación básica y que existen otros factores a considerar en la selección de la bomba, como la longitud y el diámetro de la tubería, las pérdidas adicionales de carga, la selección del tipo de bomba específica, entre otros. Por lo tanto, para calcular las pérdidas de carga, utilizaremos la fórmula de Darcy-Weisbach, que es una ecuación ampliamente utilizada en ingeniería hidráulica para estimar las pérdidas de presión debido a la fricción en una tubería.

La fórmula de Darcy-Weisbach es:

$$\Delta P = \frac{f \cdot \frac{L}{D} \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Donde:

- $\Delta P$  es la pérdida de presión debido a la fricción en pascal (Pa).
- $f$  es el factor de fricción de Darcy-Weisbach (un valor adimensional) que depende del tipo de flujo y la rugosidad de la tubería. En este caso, asumiremos un valor aproximado de  $f = 0.02$ , que es común para tuberías lisas y flujos laminarmente desarrollados.

- L es la longitud de la tubería en metros (m)
- D es el diámetro interno de la tubería en metros (m). El diámetro proporcionado es 1/2 pulgada, que equivale a 0.0127 metros (aproximadamente).
- V es la velocidad de flujo del agua en metros por segundo (m/s).

La velocidad de flujo del agua podemos calcularla utilizando el caudal Q y el área de la tubería A.

$$Q = A \cdot V \quad (2.4)$$

Donde:

A es el área de la tubería en metros cuadrados ( $m^2$ ), que podemos calcular utilizando el diámetro (D).

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.5)$$

Luego despejamos despejamos V de la Ecuación 2.4:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

Ahora podemos calcular las pérdidas de carga ( $\Delta P$ ) de la Ecuación 2.3, una vez calculado las perdidas de carga se puede calcular la potencia de la bomba con la Ecuación 2.1.

## 2.3. Sistema Chiller para enfriamiento de agua

El chiller es un refrigerador de líquido que utiliza un sistema de expansión directa que enfriar mediante el intercambio térmico. El proyecto desarrollado por los autores de [31] realizaron un sistema chiller didactico con pruebas para bajar la temperatura del agua de 25 °Ca 5 °C, esto con una carga de agua de 13 litros y otra prueba con sobrecarga de 15 litros de agua.

### ▪ Chiller sin carga

La cámara llega a 5 °C en 6 minutos, a partir de ahí permanece encendido por un tiempo promedio de

7 minutos y posteriormente permanece apagado por un tiempo similar. La carga en vacío muestra el comportamiento del sistema cuando no tiene el producto de carga (agua), por lo tanto, solo enfría el aire que se encuentra alrededor del evaporador[31].

- **Chiller con carga (agua)**

La carga del producto es agua y el volumen es de 13 [lt], el evaporador se encuentra totalmente sumergido para mejorar la transferencia de calor por convección y como resultado se espera que la temperatura del agua sea igual a 5°C[31].

- **Chiller con sobrecarga**

Se aumentó el volumen dimensionado de agua a 15 lt para analizar el tiempo de enfriamiento y así llegar a una temperatura de 5 °C, por lo tanto, se incrementa el tiempo en 7 minutos, el resultado se muestra en la grafica 2.4 [31].

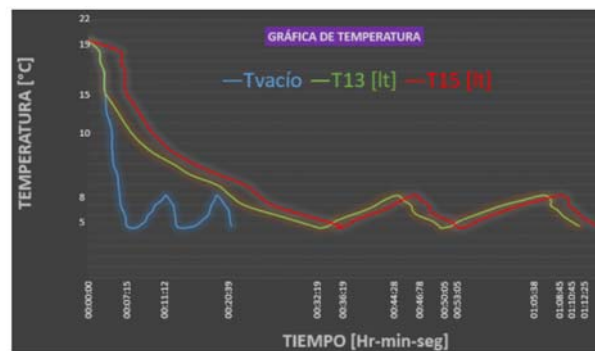


Figura 2.4: Gráfica de comparación de Temperaturas [31].

Con el análisis realizado por [31] sobre la temperatura que se puede alcanzar con el sistema chiller dependiendo la cantidad de agua que se tenga en el deposito, nos referimos a esta para construir la nuestra para enfriar el agua de nuestro sistema de recirculación del agua para el Panel fotovoltaico.

## 2.4. Sistema colector de datos de temperatura, voltaje, corriente, hora de captura de datos

Por temas de diseño se puede decir que el valor de la resistencias utilizadas deben cumplir con un voltaje máximo de 5V en el pin de entrada analógica como condición y un voltaje de máximo de medida de

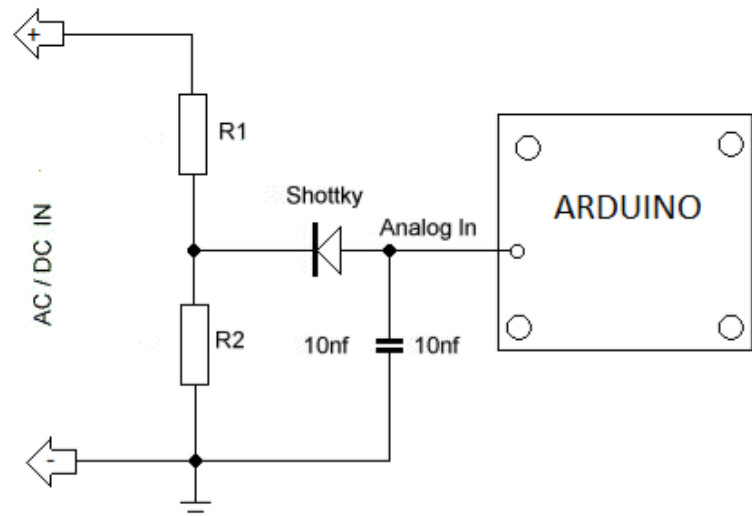


Figura 2.5: Dimensiones de panel solar.

39v con un margen de seguridad por picos de voltaje en el circuito. En este caso esta sobredimensionado un 25 % por protección.

$$V_{in} = V_{pin} + V_{medida} \quad (2.7)$$

$$= 5 + 39 + 25\%(V_{medida}) \quad (2.8)$$

$$= 5 + 39 + 10 = 54V \quad (2.9)$$

Bajo estas condiciones se considera que en el pin analógico tiene una relación de valor,  $5V = \frac{54}{11}$ , el valor de la resistencia es impuesta por valores comerciales con el valor de 1M ohmios.

$$1000000 + 100000 = 1100000 \text{ Ohmios} \quad (2.10)$$

Reduciendo este factor nos sirve para tener un voltaje de 4.9V en el pin analógico. Cuanto mayor impedancia de entrada, menos probable es que el multímetro influya o cambie lo que esta midiendo del circuito.

# Capítulo 3

## CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

### 3.1. Materiales del Sistema Fotovoltaico por enfriamiento de la recirculación del agua

- 2 Paneles Solares 275W YGE60 CELDAS SERIES 2
- 5 Perfiles Aluminio de 2m de Largo
- 1 Perfil Riel de Aluminio de 3m de Largo
- 1 Tubería de PVC 1/2 pulgada de 2m.
- 1 Tubería de Pvc 2 pulgadas de 2m
- 1 Tubería de Pvc 3 pulgadas 2m
- Bomba de agua CSP1100Dinox 3A-110V/60W
- Recipiente de 20 litros para recolección de Agua.
- Compresor a base de gas para refrigeración con radiador.



- 2 metros de Capilar cobre
- 3 metros Tubo cobre flexible 1/4 de pulgada
- 1 Termostato
- 1 Caja Paso 10x10cm
- 3 Cajas Paso 15x15cm
- 1 Caja Paso 20x20cm
- 2 Arduino Mega 2560
- Arduino Uno Rev3
- Arduino nano ch340
- 6 Sensores De Temperatura Ds18b20 Encapsulado
- 2 Sensor de Corriente ACS712
- 2 Partidores de Tensión
- 1 Modulo Rele 5VDC 4 Canales 10A/110-220AC
- Termo-magnético Inteligente Wifi Tuya Smart 2p 110v

## 3.2. Características del panel solar

En el presente apartado, se detallan las características tanto físicas como eléctricas de los paneles fotovoltaicos empleados en el proyecto.



Figura 3.1: Panel solar (Yingli Solar) YGE60 celdas series 2.

### 3.2.1. Características físicas del panel solar fotovoltaico

El panel solar es de la marca YGE60 CELDAS SERIES 2 este panel solar esta compuesto de 30 celdas en serie, con un peso de 19 Kg, el dimensionamiento y posicion de los paneles se observan en la siguiente gráfica 3.2.

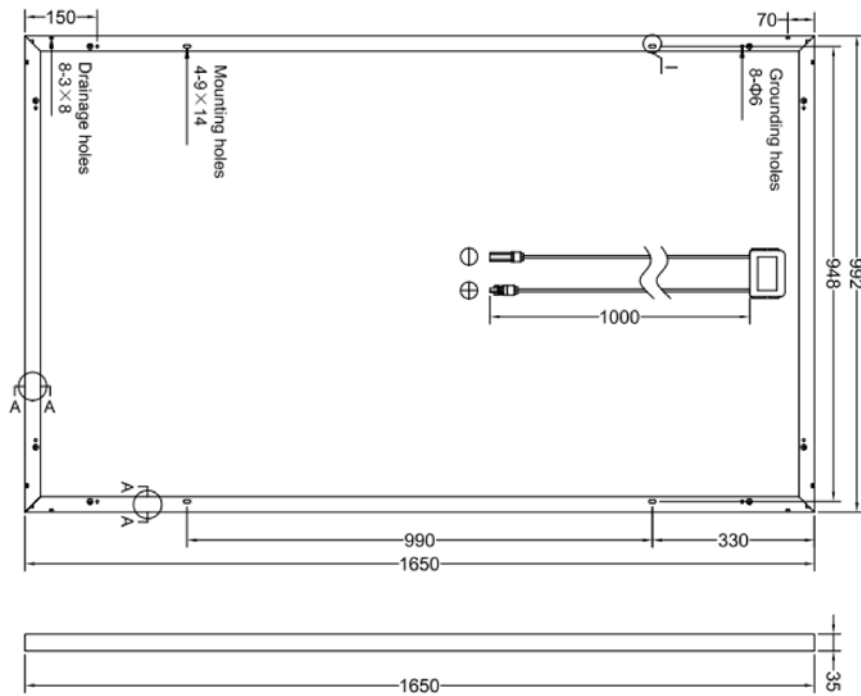


Figura 3.2: Dimensiones de panel solar.

### 3.2.2. Características eléctricas del panel solar fotovoltaico

El panel solar tiene una potencia máxima de 275 W, logrando este rendimiento cuando el voltaje en el punto de máxima potencia es de 31 V y la corriente en ese mismo punto es de 8.90 A, bajo una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Especificaciones técnicas	Modelo	Unidad	275P-29b
Potencia salida	P <sub>max</sub>	W	275
Eficiencia	nm	%	16.8
Voltaje de P <sub>max</sub>	V <sub>mpp</sub>	V	31.0
Tolerancia de potencia de salida		W	0/+5
Corriente de P <sub>max</sub>	I <sub>mpp</sub>	A	8.90
Voltaje de circuito abierto	V <sub>oc</sub>	V	37.9
Corriente de cortocircuito	I <sub>sc</sub>	A	9.35

Cuadro 3.1: Datos Técnicos de panel solar 275W.

Los coeficientes de temperatura del panel solar desempeñan un papel fundamental, ya que tienen un impacto directo en la corriente generada por cada celda del panel. Estos coeficientes son de gran importancia, ya que determinan cómo varía la producción de energía a medida que la temperatura ambiente cambia.

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of Pmax	$\gamma$	%/°C	-0.42
Temperature coefficient of Voc	$\beta Voc$	%/°C	0.32
Temperature coefficient of Isc	$\alpha Isc$	%/°C	0.05

Cuadro 3.2: Datos de Temperatura de panel solar 275W.

### 3.2.3. Curva característica I-V del panel fotovoltaico.

En la siguiente figura 3.3, se presentan las curvas I-V del panel correspondientes a diferentes niveles de irradiancia.

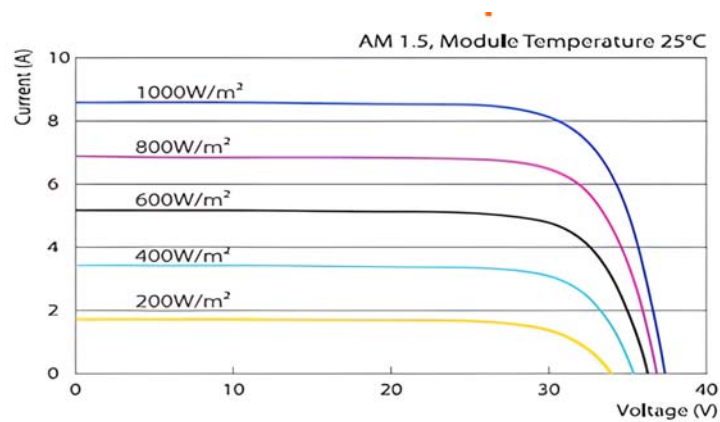


Figura 3.3: Curva I-V Paneles de 275 w.

## 3.3. Descripción de la bomba sumergible empleada para el proyecto

En el proyecto, se emplea una bomba sumergible de 110 V, específicamente el modelo CSP1100Dinox-3A, con un caudal de 15000 L/H para la recirculación de agua. La elección de esta bomba se basa en su disponibilidad, lo que evita gastos adicionales para la implementación del proyecto, En la Figura 3.4, se

muestra una imagen de la bomba sumergible.



Figura 3.4: Bomba Sumergible CSP1100Dinox-3A.

### 3.3.1. Características de la bomba Sumergible 110 v

Modelo	CSP1100Dinox-3A
Potencia	1100 W
Voltaje	110 V
Corriente	3 A
Qmax	1500 l/h
Hmax	9m
Profundida max	7 m

Cuadro 3.3: Características Bomba Sumergible CSP1100Dinox-3A

## 3.4. Descripción del compresor empleado para el proyecto

Para el proyecto se utilizó un compresor similar al del proyecto de [31], en la sección 2.3 vemos que con dicho compresor se alcanza las temperaturas deseadas en el enfriamiento del agua para el sistema de recirculación.



Figura 3.5: Compresor Neveras Sikelan R-134 110V.

### 3.4.1. Características del Compresor Sikelan R-134 110V

Marca	Sikelan
Modelo	ADW91T6
Voltaje Alimentacion	110-120 (V)
Corriente Arranque	12.5 A
Frecuencia	60 Hz
Refrigerante	R-134

Cuadro 3.4: Características del Compresor Sikelan R-134 110V

## 3.5. Descripción Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart 2p 110v 63

En la programación de horarios de encendido y apagado del sistema se usa un Breaker Inteligente WIFI 120-230V y 63 A, aparte este breaker nos da datos de consumo de corriente total del sistema en la aplicación TUYA SMART.



Figura 3.6: Compresor Neveras Sikelan R-134 110V.

### 3.5.1. Características de el Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart

Aplicación	TuyaSmart / SmartLife
Tensión de entrada	AC 230V 50Hz
Tensión de salida	AC 230V
Número de polos	2P
Corriente nominal	63A
Capacidad nominal de interrupción de cortocircuito	$I_{cn}=6kA$
Tensión nominal de soportabilidad de pulso	$I_{cs}=6kV$

Cuadro 3.5: Características de el Breaker Inteligente Wifi Tuya Smart

### 3.6. Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560 . Tiene 54 pines de entrada/salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila.[32]



Figura 3.7: Arduino Mega 2560.

### 3.6.1. Características de la Arduino Mega 2560

- Tensión de funcionamiento 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V
- Voltaje de entrada (límite) 6-20V
- Pines de E/S digitales 54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica 16
- Corriente CC por pin de E/S 20mA
- Corriente CC para clavija de 3,3 V 50mA
- Memoria flash 256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
- SRAM 8 KB
- EEPROM 4 KB
- Velocidad de reloj 16 MHz
- Longitud 101,52 mm
- Ancho 53,3 mm
- Peso 37 gramos [33]

### 3.7. Arduino Uno Rev3

Arduino Uno como se representa en la gráfica 3.8 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P ( hoja de datos ). Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable



USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar.[34]

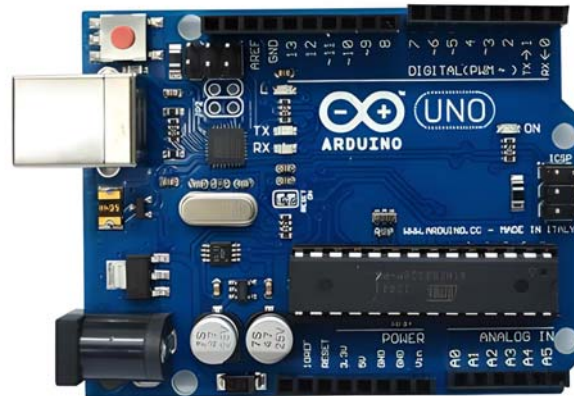


Figura 3.8: Arduino Uno.

### 3.7.1. Características de la Arduino UNO

- Microcontrolador ATmega328P
- Tensión de funcionamiento 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V
- Voltaje de entrada (límite) 6-20V
- Pines de E/S digitales 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de E/S digitales PWM 6
- Pines de entrada analógica 6
- Corriente CC por pin de E/S 20 mA
- Corriente CC para clavija de 3,3 V 50 mA

- Memoria flash 32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utilizados por el gestor de arranque
- SRAM 2KB (ATmega328P)
- EEPROM 1KB (ATmega328P)
- Velocidad de reloj 16 MHz
- LED CONSTRUIDO 13
- Longitud 68,6 mm
- Ancho 53,4 mm
- Peso 25 gramos [35]

### 3.8. Arduino NANO ch340

Arduino Nano como se observa la imagen 3.9 es una placa pequeña, completa y compatible con placas de prueba basada en ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. Solo carece de un conector de alimentación de CC y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar.[36]

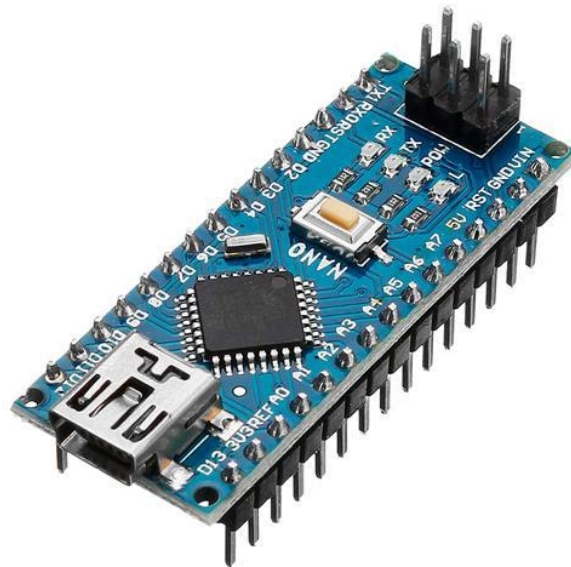


Figura 3.9: Arduino nano.

### 3.8.1. Características de la Arduino NANO

- microcontrolador ATmega328
- Arquitectura AVR
- Tensión de funcionamiento 5 voltios
- Memoria flash 32 KB de los cuales 2 KB utilizados por el gestor de arranque SRAM 2 KB
- Velocidad de reloj 16 MHz
- Pines de entrada analógica 8
- EEPROM 1 KB
- Corriente CC por pines de E/S 40 mA (pines de E/S)
- Voltaje de entrada 7-12V
- Pines de E/S digitales 22 (6 de los cuales son PWM)
- Salida PWM 6
- El consumo de energía 19mA
- Tamaño de placa de circuito impreso 18x45mm
- Peso 7 gramos [\[36\]](#)

### 3.9. Sensor de Corriente ACS712

El Sensor de Corriente ACS712 soporta mediciones de corriente de hasta 30 A en AC o DC. Internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético surgido de el paso de la corriente por un alambre de cobre interno y convirtiendo este campo en un voltaje variable. Esto significa que a mayor cantidad de corriente que tengamos, mayor voltaje vamos a tener en un pin.

Es ideal para proyectos mecatrónicos ya sea en ambientes industriales o comerciales, el módulo es de fácil conexión ya que traen una bornera para conectar la línea que queremos medir y 3 pines más, dos

para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica.

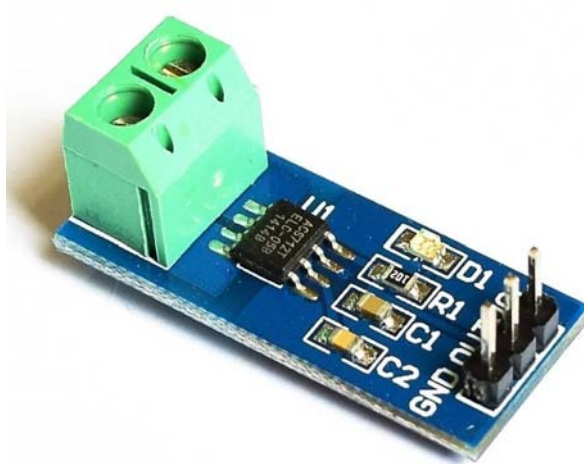


Figura 3.10: Senstr de corriente.

### 3.9.1. Características del sensor de corriente ACS712

- Modelo: ACS712ELCTR-30A-T
- Sensor de corriente: ACS712
- Voltaje de Trabajo: 5V
- Rango Máximo: (+/-) 30 A
- Salida análoga: 100mV/A
- Salida cuando no detecta corriente: 2 VCC
- Sensibilidad: 66 mV/A
- Resistencia interna: 1.2 mOhmios
- Indicador : LED
- Mínimo voltaje de aislamiento entre pines 1-4 a pines 5-8: 2.1 kVRM
- Dimensiones: 31mm x 13mm x 11.8 mm

### 3.10. Sensor de Temperatura DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus.

El sensor DS18B20 es fabricado por Maxim Integrated, el encapsulado de fabrica es tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. La presentación comercial más utilizada por conveniencia y robustez es la del sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua. Con este sensor podemos medir temperatura desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $125^{\circ}\text{C}$  y con una resolución programable desde 9 bits hasta 12 bits.

Cada sensor tiene una dirección única de 64bits establecida de fábrica, esta dirección sirve para identificar al dispositivo con el que se está comunicando, puesto que en un bus 1-wire pueden existir más de un dispositivo.



Figura 3.11: Sensor de temperatura.

El sensor tiene dos métodos de alimentación:

Alimentación a través del pin de datos.

De esto forma, el sensor internamente obtiene energía del pin de datos cuando este se encuentra en un estado alto y almacena carga en un condensador para cuando la línea de datos esté en una estado bajo, a esta forma de obtener energía se le llama “Parasite Power” y se usa cuando el sensor debe conectarse a

grandes distancias o en donde el espacio es limitado, puesto que de esta forma no se necesita la línea de VDD.

Alimentación usando una fuente externa

De esta forma el sensor se alimenta a través del pin VDD, de esta forma el voltaje es estable e independiente del tráfico del bus 1-wire.

### 3.11. Encapsulado de relay 4 channels

Específicamente, este módulo de relés utiliza un voltaje de trabajo de 5V DC para controlar un máximo de 250V AC o 110V DC, que serán suministrados por el Arduino UNO. Dispone de una interfaz de salida de tres pines tipo DIP hembra tornillo en un terminal de color verde, al cual se conectarán la alimentación VCC y la tierra GND de los sensores de pH y Redox como se muestra en la figura 3.12. Este módulo cuenta con la interfaz de comunicación I2C como interfaz de entrada con el Arduino UNO, del cual se hablará más adelante. Para ello utiliza un integrado STM32F030F4P6 encargado de analizar los comandos enviados por el Arduino UNO con el fin de controlar el canal o interruptor que se desee.[\[37\]](#)



Figura 3.12: Encapsulado de relay 4 channels

### 3.12. Diseño de Partidor de Tensión 40V

Para recopilar los datos de voltaje, se requiere un sensor que pueda manejar voltajes de 39.5VDC. Sin embargo, al no encontrar un sensor disponible en el mercado que cumpla con esta especificación, se ha decidido diseñar uno específicamente para esta aplicación. El diseño es el partidor de tensión observar el modelo en la figura 3.13, permitirá medir de manera precisa y segura el voltaje necesario para el estudio. El partidor de tensión se diseñará considerando los valores comerciales de las resistencias y teniendo en cuenta las condiciones de voltaje máximas que el sistema podría enfrentar, garantizando así una adecuada medición de los datos de voltaje durante el funcionamiento del panel fotovoltaico.

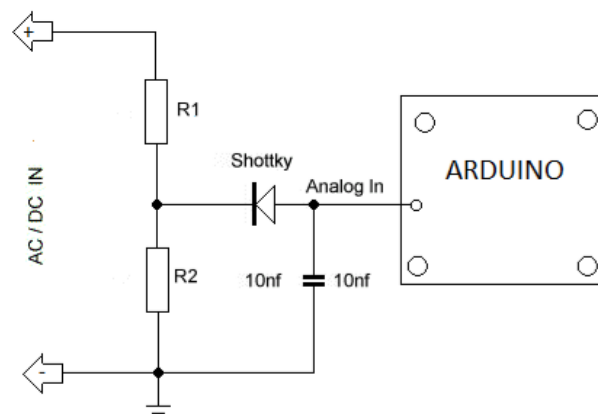


Figura 3.13: Circuito electrónico del partidor de tensión 40v

#### 3.12.1. Ensamblaje de partidor de tensión 40v

Considerando los cálculos realizados en el capítulo 2, sección 2.4, se observa que en el partidor de tensión, se estableció que el valor de resistencia R1 es de 1000000 ohmios, que es un valor comercialmente disponible. Mientras tanto, para la resistencia R2, se aproximó su valor a 100000 ohmios. La elección del valor R2 se debe que el pin analógico del sistema soporta un máximo de 5V, y el valor de la tensión que da los paneles es a partir de los 54V, se sobredimensiona el circuito para proteger el pin analógico y asegurar que se medirían voltajes máximos de 39.5V.

### 3.13. Diseño y Montaje Estructural del Sistema Fotovoltaico

Se diseñó una estructura como en la imagen 3.14, utilizando perfiles de aluminio como base para la colocación de los paneles fotovoltaicos. La construcción de la estructura se configura como única unidad para ambos paneles, es decir una sola estructura. Se toma en cuenta la inclinación recomendada según lo especificado en el capítulo 2, sección 2.1.3. Las dimensiones de la estructura se determinaron considerando el ángulo necesario para lograr una mayor área de irradiación, basándose en investigaciones previas. La elección de perfiles de aluminio y la configuración de la estructura para ambos paneles garantizan una instalación robusta del sistema fotovoltaico, para mejorar así la captación de energía solar.

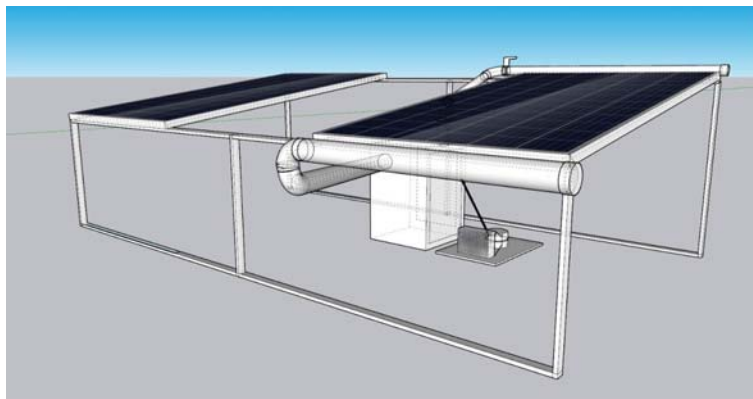


Figura 3.14: Simulación estructural del Sistema Fotovoltaico.

#### 3.13.1. Dimensiones de la estructura del Sistema Fotovoltaico

Antes de montar la estructura, se consideraron las medidas necesarias para garantizar un ensamblaje correcto y seguro, las distancias de cada elemento se encuentra en la figura 3.15. Estas medidas aseguran un funcionamiento del sistema y preparan el camino para avanzar hacia la siguiente fase del proyecto de manera efectiva y sin contratiempos.



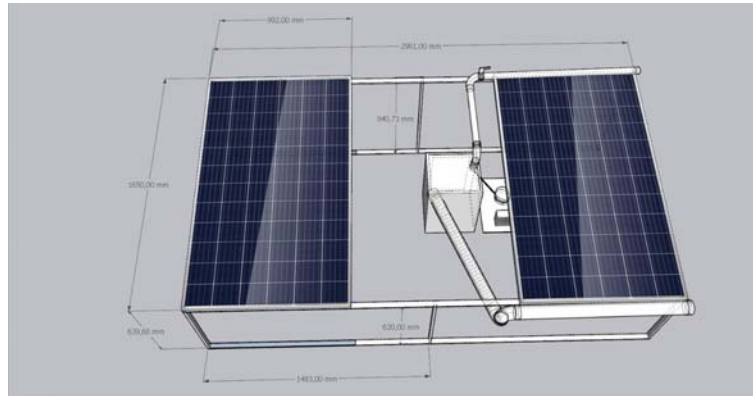


Figura 3.15: Medidas estructurales del Sistema Fotovoltaico.

### 3.13.2. Montaje de la estructura para los Paneles Fotovoltaicos

Con base en las medidas diseñadas, tal como se ilustra en la Figura 3.16, se procede a llevar a cabo el montaje de la estructura destinada a la instalación de los paneles fotovoltaicos. Además, en esta etapa, se contempla el ensamblaje de los demás sistemas que forman parte del proyecto. En el siguiente paso, se enfocará en el diseño y los cálculos de dichos sistemas complementarios, garantizando una implementación del proyecto en su totalidad.



Figura 3.16: Montaje del Sistema Fotovoltaico.

### **3.14. Diseño y Montaje del Sistema de recirculación de agua para enfriamiento del panel fotovoltaico**

Para enfriar el panel fotovoltaico, se requiere dimensionar un sistema de recirculación de agua. Este sistema consta de una bomba de agua que lleva el agua hacia el panel a través de una tubería PVC de 1/2 pulgada. Una vez en el panel, el agua se dispersa sobre este mediante agujeros hechos en una tubería de PVC de la misma dimensión, ubicada en la cabecera del panel. Al final del panel, se coloca una tubería de PVC de 3 pulgadas, que recoge el agua y la conduce al depósito mediante una tubería de PVC de 2 pulgadas. El depósito tiene una capacidad de 20 L y es donde se encuentra la bomba que completa el ciclo del sistema de recirculación.

#### **3.14.1. Diseño del sistema de recirculación de Agua para el Panel Fotovoltaico**

Una vez armada la estructura general, se procedió al diseño del sistema de recirculación, colocando las tuberías y el depósito siguiendo la configuración indicada en la Figura 3.17. La estructura sirvió como guía para la disposición de los componentes del sistema de recirculación, asegurando su correcta ubicación y funcionamiento. De esta manera, se logró una integración adecuada de los elementos del sistema y se facilitó su operación eficiente.

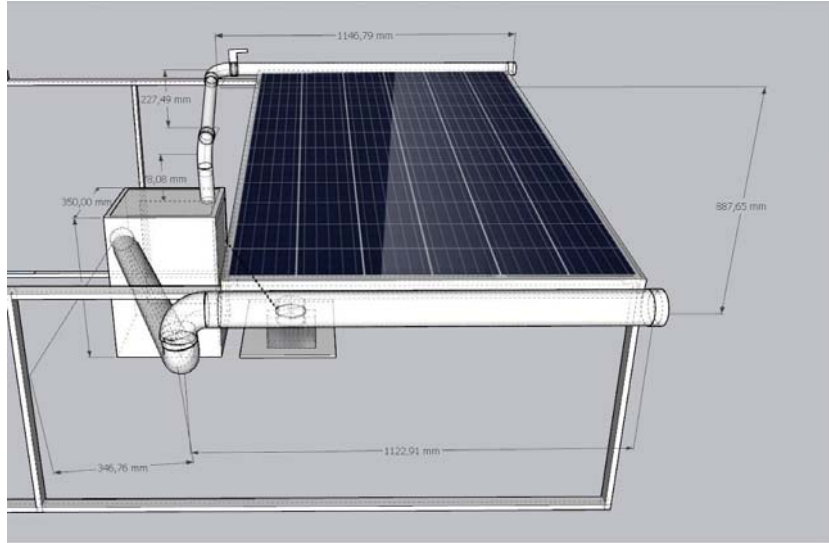


Figura 3.17: Sistema de recirculación de Agua para el Panel Fotovoltaico.

### 3.14.2. Dimensionamiento de la bomba para el sistema de recirculación de agua

Para dimensionar la bomba del sistema de recirculación, se revisaron las fórmulas y procedimientos en el capítulo 2, sección 2.2.2, con el fin de calcular la bomba en función del caudal. Se tomó como referencia el valor de 0.14 L/min, basado en la investigación de los autores en [29], quienes ya han estudiado y demostrado dicho dato. Con esta información, se procedió a calcular el valor adecuado de la bomba sumergible para el sistema de recirculación.

Para el cálculo, se consideró que la longitud total de la tubería de PVC de 1/2 pulgada es de 170 cm y la altura a la que la bomba debe elevar el agua es de 60 cm. Estos datos son fundamentales para el proceso de cálculo de la bomba.

Luego, se obtuvo la pérdida de presión debido a la fricción de las tuberías ( $\Delta P$ ) utilizando la Ecuación 2.3 y el procedimiento indicado en el capítulo 2, sección 2.2.2.

$$\Delta P = 0,2244 Pa \quad (3.1)$$

Una vez obtenido este valor de la Ecuación 3.1 y la eficiencia de la bomba ( $\eta$ ) es 0.8 (80%), requerida de la bomba con la Ecuación 2.1.

$$P = 0,06265W \quad (3.2)$$

La potencia requerida para la bomba sumergible sería aproximadamente 0.06265 vatios (W). Sin embargo, al no encontrar una bomba con estas especificaciones, se mejorará por utilizar una disponible en el momento, considerando también cuestiones de costos. La bomba seleccionada fue ajustada para controlar el caudal, lo cual se detallará en la siguiente sección del proyecto.

### 3.14.3. Implementación del sistema de recirculación de Agua

Una vez que se ha concluido el diseño y los cálculos del sistema de recirculación, se procede a montar dicho sistema sobre la estructura previamente preparada, junto con el panel fotovoltaico que requiere enfriamiento. Esta implementación garantiza que el sistema de recirculación funcione correctamente, proporcionando el enfriamiento necesario para maximizar el rendimiento del panel fotovoltaico. De esta manera, se asegura que el sistema trabaje de manera efectiva y contribuya a la mejora del rendimiento general del sistema fotovoltaico.



Figura 3.18: Montaje del sistema de recirculación de Agua.

### 3.14.4. Medición y Regulación del Caudal del Sistema de recirculación

Para obtener el caudal de 0,14 L/min, es necesario regular el paso de la bomba utilizada, la cual tiene una capacidad de caudal de 250 L/min, según se indica en las características presentadas en la tabla 3.3.

Este ajuste se lleva a cabo mediante una llave de paso colocada en la tubería que se encuentra en la parte superior del Panel, tal como se muestra en la Figura 3.19. De esta manera, se logra obtener el caudal deseado para el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento por recirculación de agua.

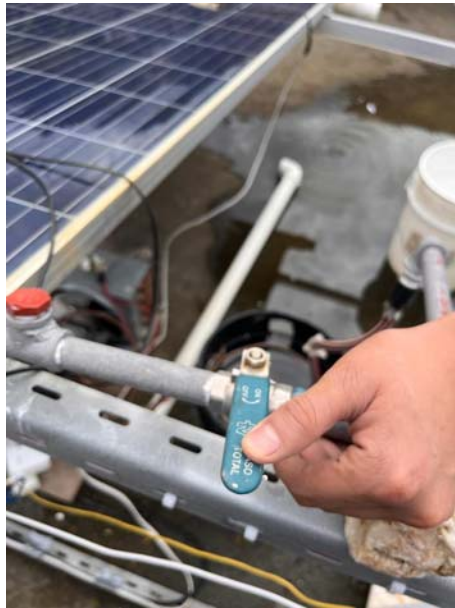


Figura 3.19: LLave de paso del Sistema de recirculación.

Para medir el caudal, se siguieron las directrices del método de llenado de un recipiente, registrando el tiempo necesario para llenar 0,14 L de agua. Se realizaron pruebas ajustando la llave de paso hasta lograr el llenado de los 0,14 L en 60 segundos. De esta manera, obteniendo la medida deseada del caudal del sistema. El proceso de como se midió se observa en la figura 3.20



Figura 3.20: Medición del caudal.

### **3.15. Diseño y Montaje del Sistema Chiller para enfriar el agua del deposito**

Para enfriar el agua del depósito del sistema de enfriamiento del panel fotovoltaico, se llevó a cabo la construcción de un sistema chiller destinado a enfriar el agua contenida en el recipiente. Esta medida fue necesaria para mantener el agua a una temperatura inferior a los 20 °C y así obtener diferencias de valores de voltaje, corriente y potencia del panel que integra el sistema de enfriamiento por recirculación de agua, con respecto al normal.

#### **3.15.1. Montaje del sistema de Chiller**

Para la construcción del sistema chiller, se utilizó un compresor y un ventilador con su respectivo radiador. Para realizar el cargado del gas y conectar las cañerías, se contó con la asistencia de un profesional para garantizar la seguridad del proceso. Todas estas acciones se llevaron a cabo teniendo en cuenta las características de construcción y las medidas de las cañerías descritas por los autores en [32]. El sistema ensamblado se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3.21: Montaje del Sistema Chiller.

### 3.15.2. Ajuste del Sistema Chiller para el sistema de recirculación

Una vez ensamblado el sistema, se procede a igualar los parámetros del mismo a los tomados de ejemplo para el sistema chiller, como se describe en el capítulo 2, sección 2.3 del trabajo de los autores. Para realizar pruebas, los autores llevaron a cabo pruebas de carga del recipiente con 13 litros y sobrecarga de 15 litros.

En el caso presente, la capacidad del recipiente es de 20 litros. No obstante, debido a la inclusión del sistema chiller, la bomba sumergible y la entrada de la tubería del sistema de recirculación de agua, se logra alcanzar una cantidad de agua de 15 litros, como se puede observar en la Figura 3.22. Estas adaptaciones posibilitan el ajuste del sistema para llevar a cabo pruebas comparables a las del sistema chiller utilizado como referencia.





Figura 3.22: Demostración del volumen restante al llenado del recipiente.

Una vez alcanzados los 15 litros en el recipiente, se busca reducir la temperatura de 25 [°C] a 5 [°C] en un período de 49 minutos, según lo indicado por los autores en [32]. Con este objetivo, se procede a aislar el recipiente para prevenir el calentamiento del agua debido a factores externos. En la Figura 3.23, se puede apreciar el sistema chiller armado y hermetizado, diseñado para facilitar el enfriamiento del agua y mantenerla a la temperatura deseada durante el proceso.



Figura 3.23: Montaje Final del sistema Chiller en el Sistema Fotovoltaico.



### **3.16. Diseño y Montaje del Sistema de automatización para la recirculación del agua y enfriamiento del agua**

Terminado el proceso del montaje de los sistemas fotovoltaico, se procede a la automatización del sistema de recirculación y el sistema de refrigeración. Para su correcto funcionamiento, se establecen ciertas condiciones que se basan en las características eléctricas del Panel 275W YGE60, las cuales se encuentran detalladas en el apartado capítulo 2, sección 3.2.2. Estas condiciones se definen para asegurar un rendimiento del sistema y para garantizar que tanto el sistema de recirculación como el sistema de refrigeración se activen y desactiven adecuadamente según los límites de temperatura establecidos para el panel fotovoltaico. Mediante la automatización basada en estas condiciones, mantener el panel fotovoltaico dentro de los parámetros de funcionamiento ideales.

#### **3.16.1. Condiciones del Sistema de automatización para la recirculación del agua y enfriamiento del agua**

Cuando el valor de la temperatura supera los 45 [°C], el panel fotovoltaico sufre pérdidas debido al efecto joule. Para evitar estas pérdidas, se activa la bomba del sistema de recirculación cuando se alcanza esta condición. Una vez que el panel se enfría y la temperatura desciende por debajo de los 30 [°C], la bomba se apaga. Esta temperatura de 30 [°C] se considera para el buen funcionamiento del panel, por lo que se busca mantener la temperatura del panel fotovoltaico en un rango entre los 40 [°C] y los 30 [°C]. Esta estrategia de control contribuye a mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil del panel al mantenerlo dentro de los rangos de temperatura adecuados.

La temperatura del agua también debe cumplir una condición de no pasar los 30 [°C], una vez superado este valor se activa el sistema de refrigeramiento para mantener el agua entre los valores de 25 [°C] y 19 [°C].

Una de las condiciones para ahorrar energía es que el sistema de recirculación y refrigeración no funcionen al mismo tiempo. En esta situación, la bomba de agua no se activa hasta que se alcancen los valores de temperatura necesario del agua, y posteriormente, se apaga el sistema de refrigeración. Para

obtener más detalles, se puede hacer referencia al diagrama en la Figura 3.24. La programación basada en este diagrama se realiza utilizando el lenguaje de programación de arduino.

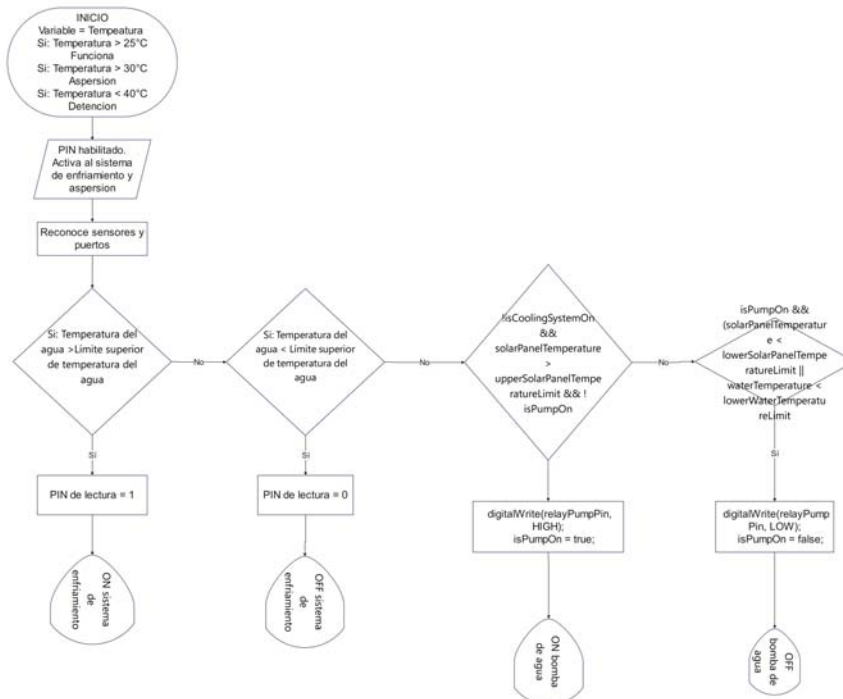


Figura 3.24: Diagrama de Automatización del sistema de recirculación y refrigeramiento.

### 3.16.2. Esquema de Conexión del Sistema de automatización para la recirculación del agua y enfriamiento del agua

Una vez planteadas las condiciones y la programación, el esquema de conexiones de dispositivos para la automatización del sistema de recirculación y enfriamiento está alimentado por una fuente de 12VDC

para el arduino y otra fuente de 5VDC para el módulo de relés. Este último es el encargado de activar la bomba y el sistema de refrigeración, los cuales funcionan con una alimentación de 110V. Para medir las condiciones de temperatura del agua y panel, se utilizan los sensores DS18B20.

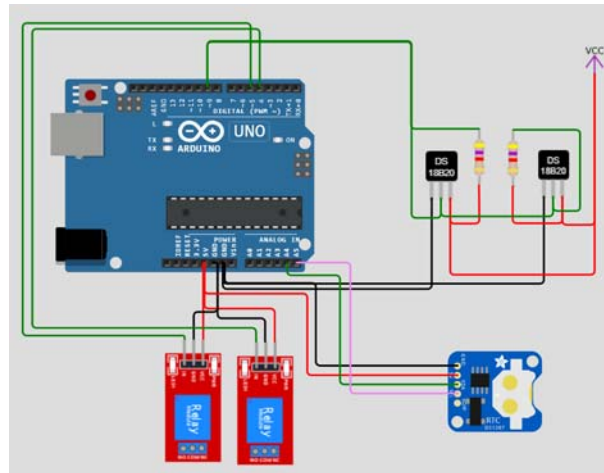


Figura 3.25: Diagrama control del sistema de enfriamiento y recirculación de agua.

### 3.17. Diseño y Montaje de los sistemas de recolección de Datos de Temperatura, Voltaje y Corriente

Una vez automatizado el sistema de recirculación del agua y enfriamiento del agua, es necesario obtener los datos de voltaje, corriente y temperatura de los paneles para analizarlos.

#### 3.17.1. Diseño del Sistema para recolección de voltaje y Temperatura

Los datos de temperatura y voltaje de los paneles solares se obtienen por separado de los corriente, con el propósito de mantener la estabilidad en el sistema. Para lograr esto, se utiliza un reloj RTC (Real-Time Clock) que permite obtener la fecha y hora exacta de la captura de voltaje.

Para medir el voltaje, se diseñó previamente un partidor de tensión con un margen de error de dos décimas de precisión. Cada partidor de tensión se acopla en función de los valores resistivos reales medidos con un multímetro y ajustados mediante una constante multiplicativa en el programa, tal como se describe en el diagrama de flujo correspondiente al medidor de voltaje.

Los datos de voltaje medidos con esta precisión son aproximados a los obtenidos con un multímetro

fluke y son almacenados cada 500 milisegundos en una tarjeta SD a lo largo del día. Posteriormente, los datos son extraídos diariamente en un intervalo de tiempo definido para su posterior análisis y evaluación del rendimiento del sistema..

#### **3.17.1.1. Condiciones del programa para recolección de voltaje**

Según las especificaciones de la placa del panel solar YingliSolar, se obtiene un dato de voltaje a circuito abierto de 39.1V. En función de variables como el tiempo y la temperatura ambiente, se capturan los datos cada medio segundo o cada 500 milisegundos. Este proceso de captura periódica de datos permite monitorear la variación del voltaje en el circuito abierto del panel solar, lo que proporciona información relevante para el análisis y la evaluación del rendimiento del sistema.

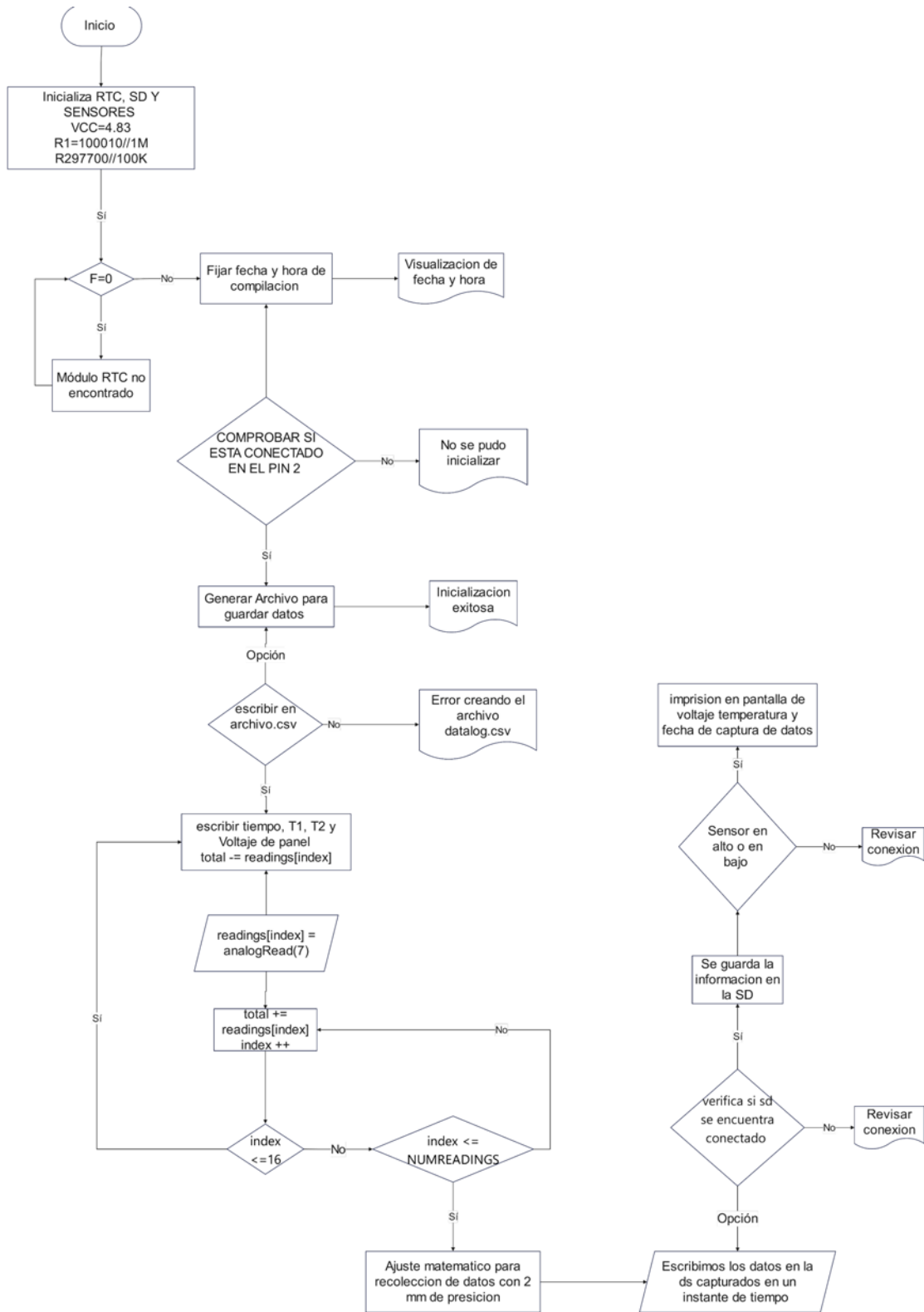


Figura 3.26: Diagrama de flujo de comportamiento de algoritmo para recolección de voltaje.

### 3.17.1.2. Esquemas de circuito de voltímetro

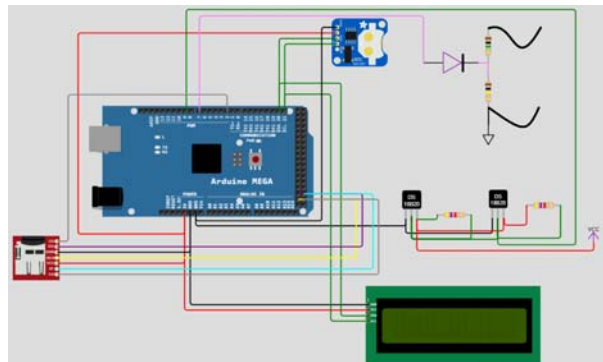


Figura 3.27: Esquema de recolección de datos de voltaje y temperatura en función del tiempo.

### 3.17.2. Diseño del Sistema para recolección de datos de corriente

Bajo los criterios de la placa del panel solar YingliSolar, se obtiene un dato de corriente de cortocircuito de 9.15 A. Para capturar los datos en función del tiempo, se utilizó un módulo de corriente que admite hasta 30 A de corriente continua (DC). Este módulo, conectado a la entrada del arduino, convierte los valores altos de corriente en valores muy pequeños, inferiores a 1 A. Mediante los cálculos matemáticos y aproximaciones, el arduino realiza la conversión adecuada y guarda los valores medidos en la tarjeta SD cada 500 milisegundos aproximadamente. Este proceso de captura de datos de corriente en intervalos tan cortos permite obtener una medición precisa y detallada del comportamiento de la corriente generada por el panel solar a lo largo del tiempo.

#### 3.17.2.1. Cálculo de la carga usada para el Panel Fotovoltaico

Para la obtención de la carga, se realizó un cálculo simple utilizando las características de voltaje y corriente en circuito abierto del panel fotovoltaico, como se menciona en el capítulo 2, sección 3.2.2. A partir de estos datos, se calculó la resistencia de carga mediante la aplicación de la Ley de Ohm. Este procedimiento permitió determinar la resistencia aproximada para el panel fotovoltaico.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.3)$$

$$R = \frac{37,9}{9,35} \quad (3.4)$$

$$R = 4,05ohm \quad (3.5)$$

Una vez que se obtuvo el valor de la carga de 4,05 ohmios asignado al panel fotovoltaico, se procedió a realizar una exhaustiva exploración en el mercado en búsqueda de una resistencia con dichas especificaciones. Sin embargo, resultó lamentable constatar la ausencia de una alternativa disponible que se ajustara a tales parámetros. Ante esta circunstancia, se optó por una solución que involucró la utilización de un alambre de níquelina. Mediante un proceso iterativo de ajuste, se llevó a cabo la modificación de la longitud del alambre hasta alcanzar el número preciso de vueltas requeridas, en este caso, 23 vueltas. Este enfoque permitió lograr el valor resistivo deseado para la implementación de la carga necesaria.



Figura 3.28: carga colocada en el panel fotovoltaico.

### 3.17.2.2. Condiciones del programa para recolección de datos de Corriente

Bajo condiciones de correcto funcionamiento del módulo de corriente ACS712, se tienen en cuenta dos aspectos importantes: el offset de trabajo y el factor de división para obtener, como máximo, 5V en la entrada analógica del Arduino. Estos parámetros son considerados cuidadosamente para asegurar un funcionamiento adecuado del módulo de corriente y garantizar que la señal de voltaje obtenida esté dentro del rango para el Arduino.

$$AvgAcs * \frac{5,0}{1024,0} \quad (3.6)$$

reducimos a valores entre 0-5v

$$AcsValueF = \frac{2,5 - AvgAcs * \frac{5,0}{1024,0}}{0,066} \quad (3.7)$$

Se tiene un offset de 0.066 y un valor base de 2.5 A, establecidos según las condiciones de diseño del módulo, considerando que el voltaje de operación del Arduino es de máximo 5V. Estos valores deben ser ajustados si el voltaje de operación difiere de 5V.

Bajo estos criterios de diseño, se ha creado un diagrama de flujo encargado de la recolección de datos de corriente en función del tiempo. El diagrama de flujo permite realizar mediciones precisas de la corriente generada por el panel solar en diferentes momentos del día, lo que brinda información valiosa para evaluar su desempeño en la generación de energía.



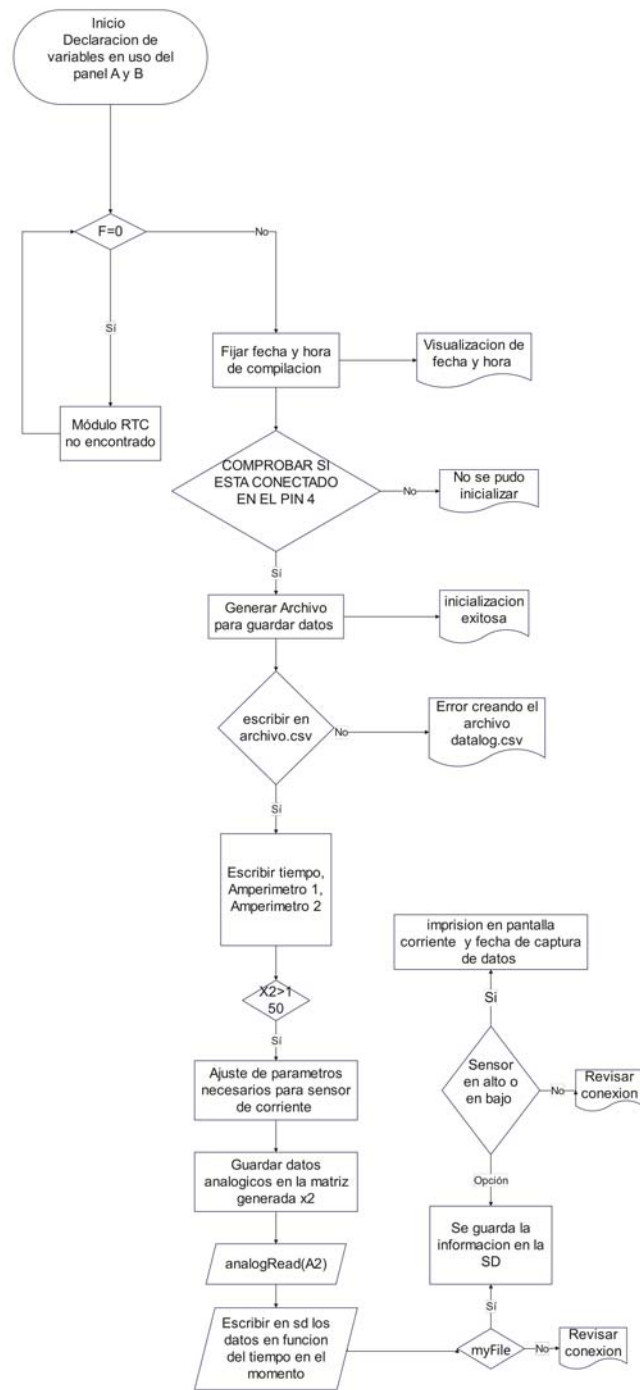


Figura 3.29: Diagrama de flujo de comportamiento de algoritmo para recolección de corriente.

### 3.17.2.3. Esquema de circuito de Corriente

Este circuito consta de dos módulos de corriente, un Arduino Uno y una RTC (Real-Time Clock) encargados de censar la corriente máxima de 9.15A que el panel podría entregar en función del tiempo establecido. El Arduino Uno y la RTC trabajan en conjunto para medir y registrar la corriente generada por el panel solar en diferentes momentos del día, lo que permite obtener datos sobre su rendimiento en la generación de energía. La conexión de los módulos se observa en la gráfica 3.30.

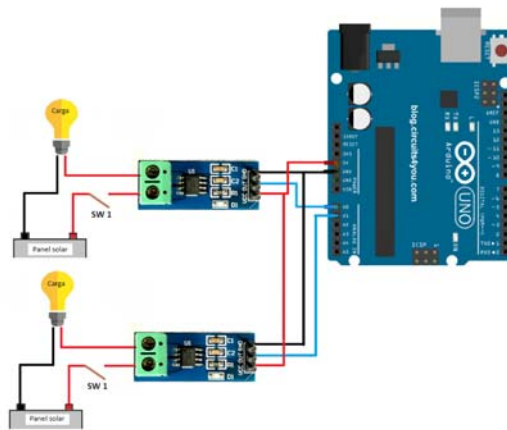


Figura 3.30: Esquema de recolección de datos de corriente en función del tiempo.

## 3.18. Programación del Termo-magnético Inteligente Wifi TUYA Smart

Los valores de consumo se obtienen mediante la implementación de un termo-magnético que se encarga, mediante la plataforma TUYA, de ejecutar la programación necesaria para presentar la visualización del consumo diario y mensual. Esta operación se ilustra en la Figura 3.31. El termo-magnético posibilita la obtención de datos relacionados con el consumo de energía del sistema en distintos intervalos temporales, lo cual provee información de utilidad para llevar a cabo el monitoreo y análisis del consumo energético del sistema de recirculación conectado a la red eléctrica.

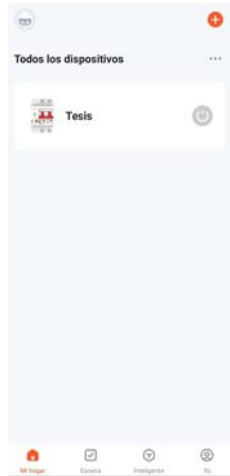


Figura 3.31: Entorno TUYA smart.

Con el objetivo de obtener el consumo de energía y visualizar las gráficas diarias, semanales y mensuales de consumo de potencia y costos del sistema en su totalidad conectado a la red eléctrica, se requiere ingresar la tarifa de cobro eléctrico en el programa. En el contexto de este estudio específico, con el pliego tarifario del Ecuador, la tarifa es de 0,091 centavos por kilovatio-hora (kWh), según se muestra en la Figura 3.32.

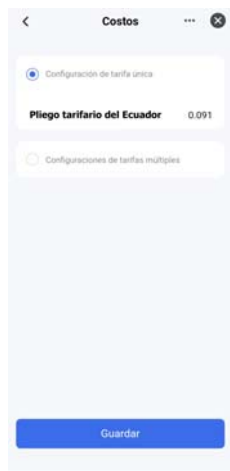


Figura 3.32: Programación de consumo TUYA Smart.

Para el proceso de puesta en marcha de todo el sistema, se establece un temporizador mediante la plataforma TUYA. Dicho temporizador se configura para activar el sistema diariamente desde las 6:00 AM hasta las 6:00 PM, tal como se muestra en la Figura 3.33.

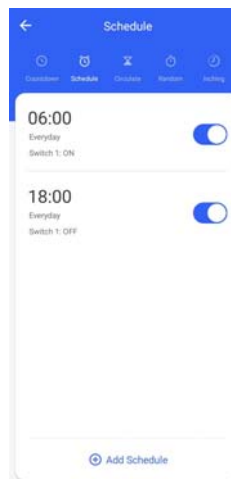


Figura 3.33: Programación horario de Encendido del Sistema en General.

# Capítulo 4

## CAPITULO 4: Análisis de Datos y Estudio de Mercado

### 4.1. Análisis de Datos

En este capítulo, se presentan los resultados de un estudio llevado a cabo en el Cantón Paute, específicamente en la terraza de una de las residencias de los autores, durante un periodo de un mes. Los datos analizados fueron obtenidos a partir de sensores de corriente, voltaje y temperatura, los cuales fueron previamente detallados en el capítulo 3.17. Además, los esquemas de los circuitos se encuentran ilustrados en las figuras 3.26 y 3.28.

Es relevante mencionar que los datos de consumo del sistema, conectado en su totalidad a la red eléctrica, fueron recopilados mediante el uso de un breaker inteligente WiFi Smart TUYA. La recopilación y el análisis de estos datos permiten obtener una visión integral del desempeño del sistema y sus consumos energéticos durante el período de estudio en condiciones reales.

Los datos se recolectaron cada medio segundo para estudiar la variación de la temperatura, voltaje y corriente al activar el sistema de enfriamiento por recirculación. Se compararon con datos obtenidos sin el sistema para obtener resultados más en respuesta a cambios bruscos de temperatura, especialmente en diferentes condiciones climáticas.

En el análisis, se consideraron los datos recopilados en días soleados y días nublados para evaluar el comportamiento de los paneles con y sin el sistema de recirculación. Para asegurar la representatividad de los datos, se seleccionaron el mejor día soleado y el mejor día nublado del mes para su análisis, basándose

en un proceso de pruebas y errores durante la toma de datos a lo largo del mes.

Esta metodología proporciona una visión detallada y precisa de cómo el sistema de recirculación afecta el rendimiento y comportamiento de los paneles solares bajo diferentes condiciones climáticas. Esto ayudará a comprender mejor su eficiencia y beneficios potenciales.

#### 4.1.1. Análisis día Soleado

Los datos fueron tomados el día 26 de julio, un día que presentó un comportamiento completamente soleado en la mañana y en la tarde, alrededor de las 3 a 5 de la tarde, hubo poca nubosidad. Este día resultó ser perfecto para probar el funcionamiento del sistema de recirculación y enfriamiento de agua.

Los paneles solares alcanzaron temperaturas superiores a los 45 [°C], lo cual activó la bomba de recirculación cada vez que se alcanzaron esos valores de temperatura, como se puede observar en la Figura 4.1 que muestra los cambios de temperatura del panel con sistema de recirculación y el panel sin el sistema. Durante el período de prueba, se pudo notar claramente la diferencia en las temperaturas entre ambos paneles, lo que sugiere que el sistema de recirculación y enfriamiento de agua fue efectivo en mantener una temperatura más baja en el panel equipado con el sistema en comparación con el panel sin el sistema.

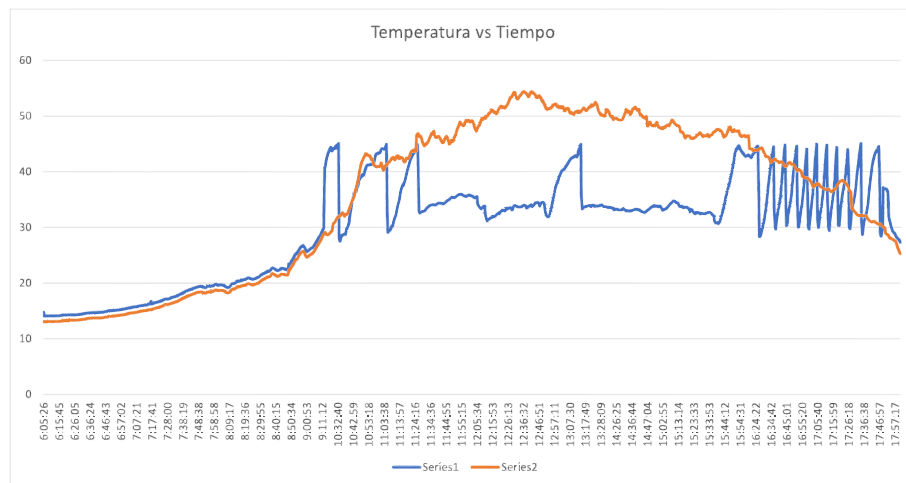


Figura 4.1: Comportamiento de Temperatura en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado.

En la gráfica azul de la Figura 4.1 se puede apreciar claramente el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento del panel solar. Cuando la temperatura del panel alcanza los 45 [°C], el sistema se activa automáticamente, lo que provoca una disminución rápida de la temperatura, llevándola hasta

aproximadamente 25 [°C] en las primeras horas de mañana y al transcurso del día, al tomar temperatura el agua del ambiente la mantiene en el rango de lo 30 [°C] a 40 [°C] ya que en la programación tiene esta condición de que si disminuye la temperatura del panel a menos 30°C esta se apaga. De esta manera, se evita que el panel exceda los 45 °C, un dato proporcionado por el fabricante como el valor máximo para el aprovechamiento óptimo del panel solar. Este control preciso de la temperatura asegura que el panel opere dentro de los límites recomendados, lo que puede prolongar su vida útil.

#### 4.1.1.1. Voltaje vs. Tiempo

Los valores de voltaje son aquellos que experimentan los mayores cambios en función de la temperatura. Estas variaciones se hacen apreciables en las gráficas, como se puede observar claramente en la Figura 4.2.

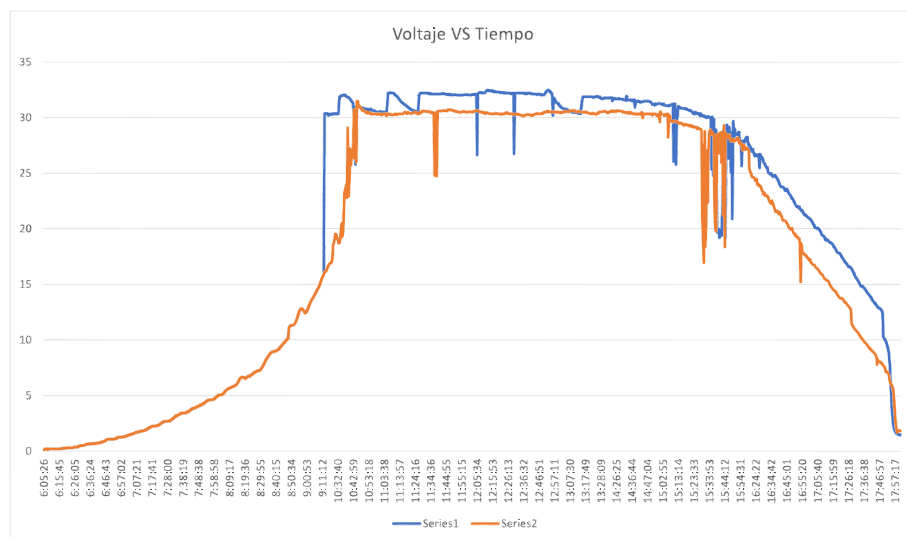


Figura 4.2: Comportamiento de el voltaje en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado.

En la gráfica azul, que corresponde al Panel con sistema de recirculación, se puede observar claramente un incremento en el voltaje en comparación con la (gráfica de color naranja) de la Figura 4.2, que representa el comportamiento del panel sin el sistema de recirculación. Esto demuestra que el sistema de refrigeración proporciona una ganancia de voltaje significativa, elevando el voltaje del panel en aproximadamente entre 1 a 2 voltios con respecto al panel normal.

En la Figura 4.2, se pueden apreciar picos negativos que reflejan la presencia de nubosidad durante ese intervalo temporal, lo cual ocasiona una disminución en el voltaje.

#### 4.1.1.2. Corriente vs. Tiempo

En cuanto a la corriente, se observa que en las gráficas presentadas en la Figura 4.3, la diferencia entre el panel con el sistema de recirculación (gráfica azul) y el panel sin el sistema (gráfica de color naranja) es mínima, siendo de tan solo 0,01 a 0,04 unidades la mayor parte del tiempo.

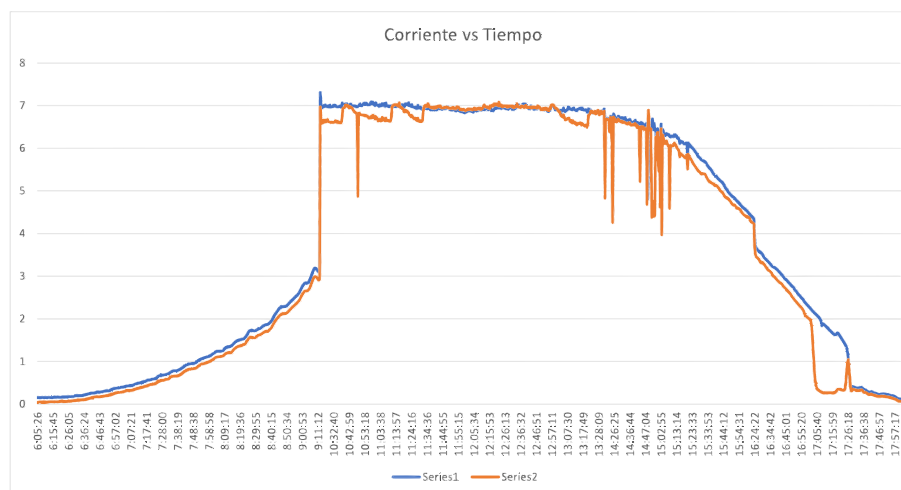


Figura 4.3: Comportamiento de la Corriente en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado.

En la representación gráfica de la corriente, se muestran picos negativos que guardan similitud con los observados en la gráfica de voltaje de la Figura 4.3. Estos fenómenos son atribuibles a la presencia de nubes, lo cual impacta en la fluctuación de la corriente registrada.

#### 4.1.1.3. Potencia vs. Tiempo

El análisis de los datos de potencia que se muestra en la figura 4.4 se puede observar que alrededor de las 9:41 am hasta las 14:36 hay una mejora en la producción de aproximadamente el 18% debido a que en este momento el sistema de recirculación enfría el panel y disminuye su temperatura lo que con lleva a una mayor generación.



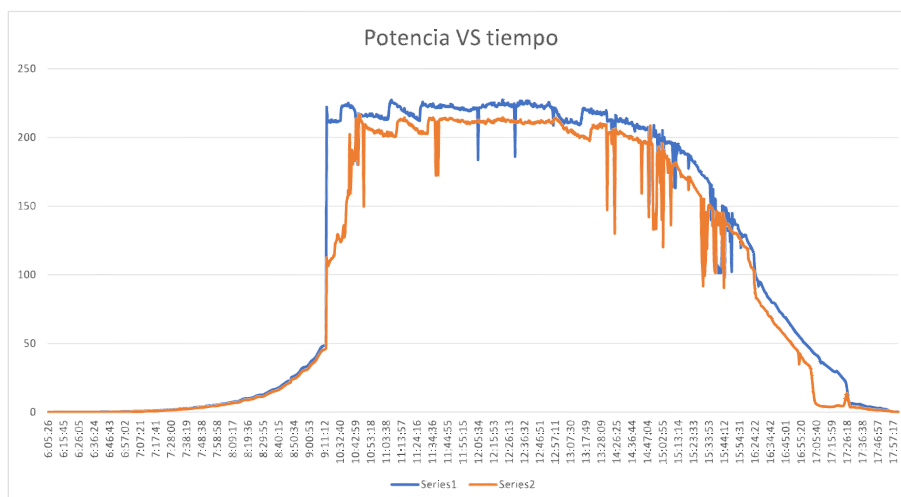


Figura 4.4: Comportamiento de la Potencia en los Paneles Fotovoltaicos en un día Soleado.

La Figura 4.7 representa los datos del promedio de la potencia de los dos paneles, se puede observar que la diferencia es de 19,75 W, da una ganancia del 17,82 % del panel con sistema con respecto al normal, demostrando que hay una ganancia de potencia usando el sistema de recirculación de agua.

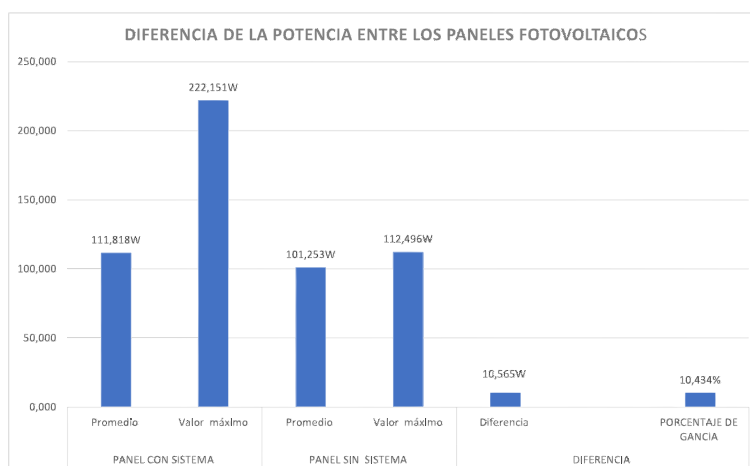


Figura 4.5: Diferencia de Potencia en un Día Soleado entre el Panel con Sistema y el Normal.

#### 4.1.2. Análisis día Nublado

El día 15 de junio se recopilaban los datos en condiciones climáticas completamente nubladas, con lluvia en la mañana y nubosidad durante la tarde. Durante todo el día, el panel solar no alcanzó temperaturas superiores a los 45°C, lo cual fue registrado en la Figura 4.6 correspondiente. Como resultado de no superar el límite de los 45°C, la bomba de recirculación no fue activada en ningún momento durante el día.

Se observa que en la gráfica azul de la Figura 4.6, correspondiente al sistema de refrigeración, la temperatura no llega a los 45°C, pero es mayor que la del panel normal durante la mayoría de las horas del día. Estas variaciones a lo largo del día se deben a la incidencia de algunos rayos solares sobre el panel y el clima de el cantón Paute es cálido, lo que provoca aumentos en la temperatura. Sin embargo, a pesar de estas elevaciones de temperatura, no se supera el límite de los 45 °C que activaría el sistema de recirculación.

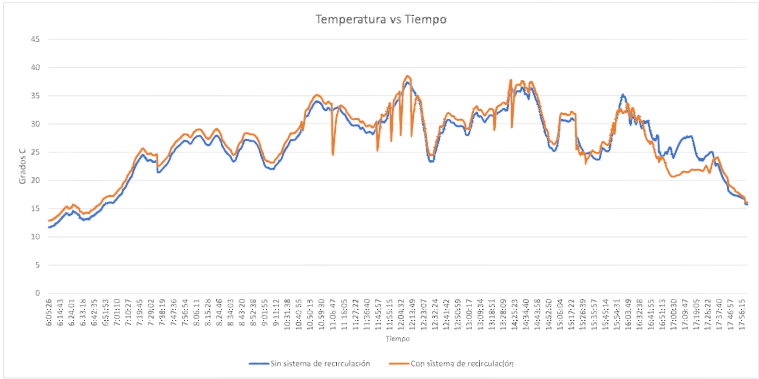


Figura 4.6: Comportamiento de la temperatura de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado.

**4.1.2.1. Voltaje vs. Tiempo**

En la Figura 4.7, se observan valores similares de voltaje en los paneles solares. Sin embargo, a lo largo del día, se pueden apreciar ciertas variaciones en los valores de voltaje entre los paneles, posiblemente debido a la influencia de pequeños rayos de sol y al trayecto del sol desde que amanece hasta que se oculta. Estos factores pueden afectar la cantidad de luz solar recibida por los paneles y, en consecuencia, generar fluctuaciones en los valores de voltaje registrados en las gráficas. A pesar de estas variaciones, se mantiene una similitud general en los niveles de voltaje entre ambos paneles.

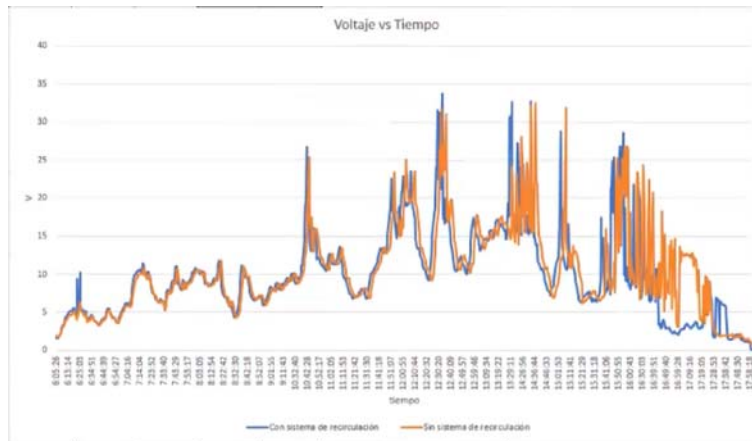


Figura 4.7: Comportamiento del Voltaje de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado.

#### 4.1.2.2. Corriente vs. Tiempo

En la Corriente, con mayor precisión, se observa la similitud de las gráficas entre los dos sistemas, como se puede apreciar en la Figura 4.8. Ambas gráficas muestran un comportamiento similar y van de la mano a lo largo del día. Esto indica que la corriente generada por los paneles, tanto con el sistema de recirculación como sin él, sigue patrones muy cercanos y responde de manera similar a las condiciones del entorno.

A pesar de las posibles variaciones causadas por factores externos, la similitud entre las gráficas de corriente sugiere que ambos sistemas mantienen una producción de corriente coherente a lo largo del día.

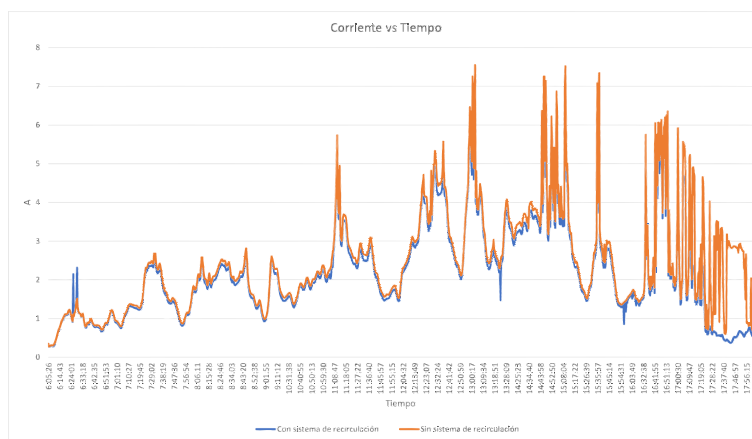


Figura 4.8: Comportamiento de la Corriente de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado.

### 4.1.2.3. Potencia vs. Tiempo

En la Figura 4.9, se puede observar que tanto los valores de potencia como los de voltaje son muy similares entre los dos paneles fotovoltaicos. Es importante destacar que el sistema de circulación no estaba activado durante este periodo, ya que la temperatura del panel no excedió los 45 [°C] necesarios para su activación.

A lo largo del día, las gráficas de potencia muestran una correspondencia cercana, lo que indica que ambos paneles están generando una cantidad similar de energía eléctrica en las condiciones estudiadas. Además, al analizar las gráficas de voltaje, se confirma que los valores de voltaje también exhiben una similitud notable entre los dos paneles.

Estos resultados sugieren que, independientemente de la presencia del sistema de circulación, ambos paneles están funcionando y produciendo una cantidad de energía eléctrica muy similar. Aunque la temperatura no alcanzó el límite de los 45 [°C] para activar el sistema de circulación, los datos demuestran que los paneles generan cantidades óptimas de potencia y tensión en las horas de mayor generación de irradiación solar.

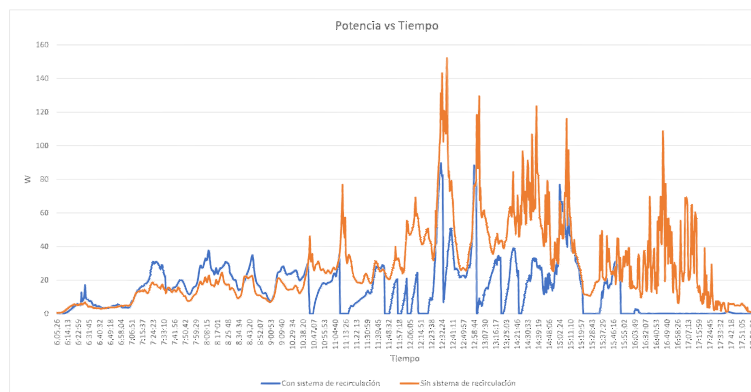


Figura 4.9: Comportamiento de la Potencia de los Paneles Fotovoltaicos en un día nublado.

En la Figura 4.10 se obtiene los datos del promedio de la potencia de los dos paneles, se puede observar que la diferencia de potencia es de 2,79 W es decir un 3% entre los dos paneles, esto se debe a la irradiancia que en ciertos instantes de tiempo cambiaba en el día nublado.

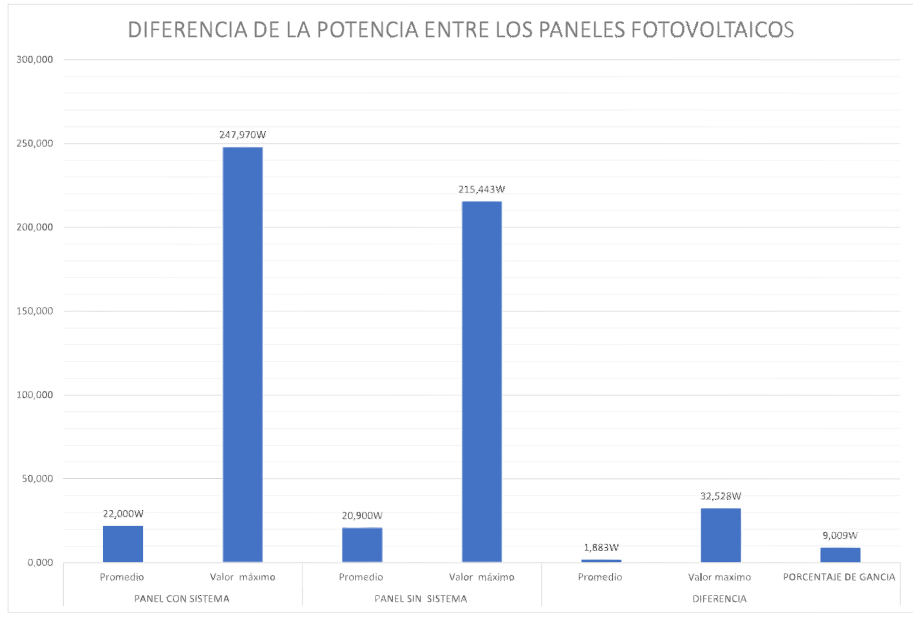


Figura 4.10: Diferencia de Potencia en un Día Nublado entre el Panel con Sistema y el Normal.

### 4.1.3. Temperatura máxima alcanzada por el panel fotovoltaico con sistema de recirculación y sin el sistema de recirculación en un Día Nublado y Soleado

En la tabla 4.1, manifiesta los valor alcanzados en los dos paneles, cuando el clima se encuentra el sol tapado por las nubes y el sol libre. También se observa la diferencia de temperatura medida en los dos paneles, cuando se encuentra activado el sistema de enfriamiento con el sin sistema de enfriamiento.

Temperatura			
Día soleado		Día nublado	
PANEL CON SISTEMA	PANEL SIN SISTEMA	PANEL CON SISTEMA	PANEL SIN SISTEMA
Valor máximo	Valor máximo	Valor máximo	Valor máximo
<b>45,06°C</b>	<b>55,13°C</b>	<b>38,53°C</b>	<b>37,38°C</b>

Cuadro 4.1: Temperatura Máxima de los Paneles Con sistema de recirculación y sin el sistema.

#### **4.1.4. Análisis de consumo de potencia y costo mensual con la aplicación tuya smart**

Para llevar a cabo el análisis de consumo del sistema de refrigeración en la aplicación Smart Tuya, se recopilaron datos durante un mes completo. Aunque en el caso de julio no se lograron obtener datos para todo el mes, los registros de consumo del mes de junio, cuando el sistema estuvo encendido durante todo el período de pruebas, proporcionaron una perspectiva relevante. A través de estos registros, fue posible visualizar tanto el consumo de potencia en kilovatios-hora (kWh) como los costos en dólares generados por el sistema de refrigeración durante el período en cuestión.

La Figura 4.11 presenta claramente que el sistema de refrigeración registró un consumo de 35,9 kilovatios-hora (KWh) durante el transcurso del mes en el cual permaneció encendido todos los días desde las 6 a. m. hasta las 18 p. m. Esta información evidencia el patrón de consumo asociado al funcionamiento continuo del sistema de refrigeración en ese período de tiempo específico.



Figura 4.11: Gráfica Consumo en Potencia del Sistema de Refrigeración durante un mes.

En relación al aspecto de los costos, es relevante señalar que el consumo del sistema de refrigeración durante este mes se cifra en \$ 3,21 dólares estadounidenses, como se refleja en la Figura 4.12. Esta representación visual proporciona una comprensión directa de los gastos asociados al funcionamiento del sistema de refrigeración en dicho período.



Figura 4.12: Gráfica Consumo en Costos del Sistema de Refrigeración durante un mes.

Para la evaluación del consumo diario, se extrae el dato correspondiente al día de máxima insolación en esa fecha, que en este caso es el 26 de julio. Esta información está representada de manera visual en la Figura 4.13, donde se detalla el consumo total diario en kilovatios-hora (kWh) del sistema de refrigeración. Esta gráfica permite visualizar el patrón de consumo diario y su relación con las condiciones de radiación

solar.



Figura 4.13: Gráfica Consumo en Potencia del Sistema de Refrigeración Diario.

En cuanto a los costos, se evidencia un gasto diario de \$ 0,12 dólares estadounidenses, como se puede apreciar en la Figura 4.14. Esta representación gráfica proporciona una visión clara del gasto económico diario relacionado con el funcionamiento del sistema.



Figura 4.14: Gráfica Consumo en Costos del Sistema de Refrigeración Diario.

## 4.2. Estudio Técnico Económico

En la siguiente etapa, se realiza el análisis técnico y económico de los dos sistemas, con el objetivo de evaluar su viabilidad en términos financieros y determinar el período de tiempo necesario para obtener el retorno de la inversión.



## 4.2.1. Estudio técnico económico del sistema de recirculación propuesto.

### 4.2.1.1. Inversión inicial del proyecto.

La inversión para el proyecto fue realizada mediante recursos propios por parte de los autores. En la Tabla 4.2, se detallan los costos correspondientes al sistema de enfriamiento mediante recirculación de agua, así como aquellos asociados al sistema sin dicho componente. Además, se proporciona un resumen de los costos de ambos sistemas, sumando los gastos de ensamblaje como se observa en la tabla 4.3 y programación en la tabla 4.4 .

Costo total del Panel con Sistema de Recirculación				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Paneles Solares 275W YGE60 CELDAS SERIES 2	U	1	\$280,00	\$280,00
Tubería de PVC 1/2 pulgada de 2m.	U	1	\$1,25	\$1,25
Tubería de Pvc 2 pulgadas de 2m	U	1	\$3,80	\$3,80
Tubería de Pvc 3"pulgadas 2m	U	1	\$6,75	\$6,75
Bomba de agua CSP1100Dinox-3A-110V/60W-	U	1	\$15,00	\$15,00
Recipiente de 20 litros para recolección de Agua.	U	1	\$4,00	\$4,00
Compresor a base de gas para refrigeración con radiador.	U	1	\$60,00	\$60,00
metros de Capilar cobre	U	2	\$5,60	\$11,20
metros Tubo cobre flexible 1/4 de pulgada	U	3	\$9,50	\$28,50
Termostato	U	1	\$4,56	\$4,56
Caja Paso 10x10cm	U	1	\$4,25	\$4,25
Cajas Paso 15x15cm	U	1	\$7,80	\$7,80
Caja Paso 20x20cm	U	1	\$10,50	\$10,50
Arduino Uno Rev3	U	1	\$12,00	\$12,00
Sensores De Temperatura Ds18b20 Encapsulado	U	2	\$3,99	\$7,98
costo de instalación	U	5	\$35,00	\$175,00
Modulo Rele 5VDC 4 Canales 10A/110-220AC	U	1	\$4,99	\$4,99
Termo-magnético Inteligente Wifi Tuya Smart 2p	U	1	\$60,00	\$60,00
Perfiles Aluminio de 2m de Largo	U	2,5	\$4,50	\$11,25
Perfil Riel de Aluminio de 3m de Largo	U	0,5	\$8	\$4
			Total	\$ 712,83

Cuadro 4.2: Costo Total del Panel con Sistema de Recirculación.

Costo total del panel sin el sistema de recirculación				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Costo de instalación	U	2	\$35,00	\$70,00
Perfiles Aluminio de 2m de Largo	U	2,5	\$4,50	\$11,25
Perfil Riel de Aluminio de 3m de Largo	U	0,5	\$8,00	\$4,00
Paneles Solares 275W YGE60 CELDAS SERIES 2	U	1	\$280,00	\$280,00
			Total	\$365,25

Cuadro 4.3: Costo Total del Panel con Sistema de Recirculación.

Costo del Proyecto				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Costo del panel con sistema de Recirculacion	Global	1	\$ 712,83	\$ 712,83
Costo del panel sin el Sistema	Global	1	\$ 365,25	\$ 365,25
Costo de programación y puesta en marcha	Global	1	\$60.00	\$60.00
			Total	\$1138.08

Cuadro 4.4: Costo Total del Proyecto.

#### 4.2.2. Estudio económico del proyecto.

Se efectúa un análisis de los gastos de energía generados por ambos sistemas, considerando el panel solar sin sistema de recirculación y el panel solar con sistema de recirculación. Los costos son calculados con base al pliego tarifario correspondiente a la categoría de la residencia ubicada en el cantón Paute, donde reside uno de los autores.

#### 4.2.3. Retorno de la inversión de los dos sistemas.

Para el cálculo del retorno de la inversión se considera los valores de Potencia total producida en el día soleado como muestra la Figura 4.5, la inversión inicial de la tabla 4.1 y 4.2, y el costo de la energía de la distribuidora para energía convencional siendo un costo de 0.095 USD/kWh. Se considera los 35.9 kWh absorbidos por el sistema de recirculación y refrigeración del agua en un mes.

Para el cálculo de periodo de retorno simple se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{\text{Inversion Inicial}}{\text{Ingresos}} \quad (4.1)$$

Para el calculo del Panel sin sistema de circulación y refrigeración:

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energia producida sin Sistema 1mes} \cdot \text{Costo de Energia}) \cdot 12 \quad (4.2)$$

$$\text{Ingreso anual} = (38,25 \cdot 0,095 \text{ USD/kWh}) \cdot 12 = \$ 41,31 \text{ USD} \quad (4.3)$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{365,25}{41,31} = 8,84 \text{ anos} \quad (4.4)$$

Para el calculo del Panel con sistema de recirculación y refrigeración:

Se considera el consumo del sistema de recirculacion y refrigeración del agua con un costo de energía convencional de 0.095 USD/kWh y del consumo de un mes del sistema de la Figura 4.5.

$$\text{Costo Funcionamiento anual} = (\text{Consumo de sistemas un mes} \cdot \text{Costo de Energia}) \cdot 12 \quad (4.5)$$

$$\text{Costo Funcionamiento anual} = (35,9 \text{ kWh} \cdot 0,095 \text{ USD/kWh}) \cdot 12 = \$40,93 \text{ USD} \quad (4.6)$$

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energia producida con Sistema 1 mes} \cdot \text{Costo de Energia}) \cdot 12 \quad (4.7)$$

$$\text{Ingreso anual} = (38,94 \cdot 0,095 \text{ USD/kWh}) \cdot 12 = \$44,39 \text{ USD} \quad (4.8)$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{697,58}{44,39 - 40,93} = 199,87 \text{ years} \quad (4.9)$$

#### 4.2.3.1. Retorno de la inversión sin considerar el consumo de energía del sistema de recirculación.

Para este análisis no se considera los 35,9 kWh mensuales absorbidos por el sistema de recirculación.

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energía producida con Sistema 1 mes} \times \text{Costo de Energía}) \times 12 \quad (4.10)$$

$$\text{Ingreso anual} = (38,94 \times 0,095 \text{ USD/kWh}) \times 12 = \$44,39 \text{ USD} \quad (4.11)$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{697,58}{44,39} = 15,71 \text{ years} \quad (4.12)$$

#### 4.2.4. Cálculo del VAN y TIR del proyecto.

Se realiza el análisis considerando un período de 25 años para evaluar tanto el Valor Actual Neto (VAN) como la Tasa Interna de Retorno (TIR) de los paneles solares con sistema de recirculación y sin el sistema.

TIEMPO	INVERSION	KWH	DESGASTE	INGRESOS	TIR	VAN
AÑO 0	\$-365	458,9646729		41,30682056	-89 %	\$-330,52
AÑO 1	\$-365	458,9646729	22,94823365	41,30682056	-89 %	\$-330,52
AÑO 2	\$-365	436,0164393	21,80082196	39,24147953	-63 %	\$-303,06
AÑO 3	\$-365	414,2156173	21,80082196	37,27940556	-43 %	\$-281,63
AÑO 4	\$-365	393,5048364	19,67524182	35,41543528	-31 %	\$-265,17
AÑO 5	\$-365	373,8295946	19,67524182	33,64466351	-22 %	\$-252,83
AÑO 6	\$-365	355,1381149	17,75690574	31,96243034	-17 %	\$-243,87
AÑO 7	\$-365	337,3812091	17,75690574	30,36430882	-13 %	\$-237,67
AÑO 8	\$-365	320,5121487	16,02560743	28,84609338	-10 %	\$-233,75
AÑO 9	\$-365	304,4865412	16,02560743	27,40378871	-8 %	\$-231,65
AÑO 10	\$-365	289,2622142	14,46311071	26,03359928	-7 %	\$-231,05
AÑO 11	\$-365	274,7991035	14,46311071	24,73191931	-5 %	\$-231,63
AÑO 12	\$-365	261,0591483	13,05295741	23,49532335	-4 %	\$-233,16
AÑO 13	\$-365	248,0061909	13,05295741	22,32055718	-4 %	\$-235,44
AÑO 14	\$-365	235,6058813	11,78029407	21,20452932	-3 %	\$-238,29
AÑO 15	\$-365	223,8255873	11,78029407	20,14430285	-3 %	\$-241,58
AÑO 16	\$-365	212,6343079	10,6317154	19,13708771	-3 %	\$-245,19
AÑO 17	\$-365	202,0025925	10,6317154	18,18023333	-2 %	\$-249,03
AÑO 18	\$-365	191,9024629	9,595123144	17,27122166	-2 %	\$-253,02
AÑO 19	\$-365	182,3073397	9,595123144	16,40766058	-2 %	\$-257,11
AÑO 20	\$-365	173,1919728	8,659598638	15,58727755	-2 %	\$-261,23
AÑO 21	\$-365	164,5323741	8,659598638	14,80791367	-2 %	\$-265,35
AÑO 22	\$-365	156,3057554	7,815287771	14,06751799	-2 %	\$-269,44
AÑO 23	\$-365	148,4904676	7,815287771	13,36414209	-2 %	\$-273,46
AÑO 24	\$-365	141,0659443	7,053297213	12,69593498	-2 %	\$-277,41
AÑO 25	\$-365	134,012647	7,053297213	12,06113823	-2 %	\$-281,26

Cuadro 4.5: Comportamiento de VAN y TIR en función de 13 % de tasa de descuento para un panel solar de 275W .

El cuadro 4.5 representa el comportamiento de la energía generada al cabo de la vida útil establecida por el fabricante de 25 años considerando el desgaste de 0.05 % se obtiene los ingresos anuales que permiten verificar la viabilidad en términos económicos donde la tasa de descuento impuesta es en función de intereses de financiamientos a proyectos del 13 % para este caso. Se puede verificar un valor de 2 % a 25 años que puede ser mejorado un incremento de paneles solares de las mismas condiciones o una tasa de descuento inferior a la establecida en este inciso. A continuación se puede observar en el cuadro 4.6 un panel con las mismas características con un análisis técnico que consiste en refrigeración a base de agua con un sistema de recirculación.

TIEMPO	INVERSION	KWH	DESGASTE	INGRESOS	TIR	VAN
AÑO 0	\$-713	467,2909341		38,84618407	-94 %	\$-675,61
AÑO 1	\$-713	467,2909341	23,36454671	38,84618407	-94 %	\$-676,73
AÑO 2	\$-713	453,2722061	22,6636103	37,58449855	-74 %	\$-646,82
AÑO 3	\$-713	439,6740399	22,6636103	36,36066359	-55 %	\$-622,20
AÑO 4	\$-713	426,4838187	21,32419093	35,17354368	-42 %	\$-602,08
AÑO 5	\$-713	413,6893041	21,32419093	34,02203737	-33 %	\$-585,80
AÑO 6	\$-713	401,278625	20,06393125	32,90507625	-27 %	\$-572,79
AÑO 7	\$-713	389,2402663	20,06393125	31,82162396	-22 %	\$-562,55
AÑO 8	\$-713	377,5630583	18,87815291	30,77067524	-18 %	\$-554,66
AÑO 9	\$-713	366,2361665	18,87815291	29,75125499	-15 %	\$-548,76
AÑO 10	\$-713	355,2490815	17,76245408	28,76241734	-13 %	\$-544,54
AÑO 11	\$-713	344,5916091	17,76245408	27,80324482	-11 %	\$-541,75
AÑO 12	\$-713	334,2538608	16,71269304	26,87284747	-10 %	\$-540,15
AÑO 13	\$-713	324,226245	16,71269304	25,97036205	-8 %	\$-539,55
AÑO 14	\$-713	314,4994576	15,72497288	25,09495119	-7 %	\$-539,79
AÑO 15	\$-713	305,0644739	15,72497288	24,24580265	-6 %	\$-540,72
AÑO 16	\$-713	295,9125397	14,79562698	23,42212857	-6 %	\$-542,23
AÑO 17	\$-713	287,0351635	14,79562698	22,62316472	-5 %	\$-544,21
AÑO 18	\$-713	278,4241086	13,92120543	21,84816977	-5 %	\$-546,58
AÑO 19	\$-713	270,0713853	13,92120543	21,09642468	-4 %	\$-549,25
AÑO 20	\$-713	261,9692438	13,09846219	20,36723194	-4 %	\$-552,17
AÑO 21	\$-713	254,1101665	13,09846219	19,65991498	-4 %	\$-555,29
AÑO 22	\$-713	246,4868615	12,32434307	18,97381753	-3 %	\$-558,55
AÑO 23	\$-713	239,0922556	12,32434307	18,30830301	-3 %	\$-561,93
AÑO 24	\$-713	231,919488	11,5959744	17,66275392	-3 %	\$-565,38
AÑO 25	\$-713	224,9619033	11,5959744	17,0365713	-3 %	\$-568,88

Cuadro 4.6: Comportamiento de VAN y TIR en función de 13 % de tasa de descuento para un panel solar de 275W con un sistema de enfriamiento y recirculación de agua .

En condiciones similares presentadas en el cuadro 4.5 se observa un caso especial en cuanto al comportamiento de TIR que esta directamente relacionado con el comportamiento del sistema citado y propuesto para la mejora de captación de radiación solar y desgaste por temperaturas elevadas. Inicialmente en el primer años se tiene un TIR de el -94% que en comparación al cuadro anterior se observa un 5% de aumento que es debido a costos de inversión inicial que técnicamente representa un 5% de mejora con respecto a un panel sin el sistema propuesto. Puede ser mejorado y compensado los costos de inversión con mas generación fotovoltaica, esta manera la tendencia son de valores positivos. Los valores del TIR y un VAN son positivo por el aumento de generación y disminución del porcentaje de desgaste anual establecido por el fabricante del 0.05% anual.



## Conclusiones

La energía solar fotovoltaica se destaca como uno de los recursos más prometedores dentro del panorama de las energías renovables a nivel global. Entre sus ventajas sobresalientes se encuentra su carácter no contaminante con respecto al entorno ambiental. Además, este tipo de energía posee la cualidad de contar con una composición relativamente sencilla y no requiere un mantenimiento excesivo para su funcionamiento adecuado.

En términos generales, se ha logrado obtener una mejora significativa en el rendimiento del sistema mediante la implementación del enfriamiento. La mejora en promedio para un día soleado es de 17% con respecto al panel que no cuenta con sistema. Estos resultados implican que el sistema de enfriamiento mejora el rendimiento del panel solar lo que conlleva a un aumento de la producción energética.

Es importante que se realice en menor tiempo el enfriamiento del agua cuando alcanza temperaturas superiores a 30[°C] debido a que en este tiempo no funcionara el sistema de recirculación por lo tanto el panel estará con una temperatura superior a los 45[°C] lo que con lleva a pérdidas energéticas.

Es importante destacar que mantener el agua a temperaturas por debajo de los 15 °C contribuye significativamente a mejorar los niveles de voltaje y corriente en los paneles. Además, esta práctica ayuda a prevenir el desgaste interno de los componentes del panel. Sin embargo, queda pendiente para investigaciones futuras explorar el comportamiento de los paneles en temperaturas inferiores a los 10 [°C] en áreas de clima cálido.

Para este caso de estudio se realiza un análisis tanto técnico como económico. Se observa en la figura 4.5 de un día soleado un mejor rendimiento del 5.91% en promedio con respecto a un panel solar en las mismas condiciones pero sin el sistema chiller y recirculación. De la misma manera como base a los datos obtenidos en el transcurso de un día con el cielo despejado y descontando la energía consumida por el sistema de enfriamiento y recirculación se obtiene un costo de generación como un costo de consumo de energía de esto se obtiene un retorno de inversión de un -94% al cabo de la vida útil de un panel solar

promedio de 25 años con un desgaste anual de 0.05% dando como resultado que para un panel solar no es viable económicamente para el sistema de un panel. Esto se debe a el consumo de energía que necesita el sistema para su funcionamiento es superior al generado, cambiando o mejorando la tecnología usada para los equipos, se podrá baratar los costos.

## Recomendaciones

Previo a la instalación de los paneles solares, es aconsejable llevar a cabo una verificación exhaustiva de su correcto funcionamiento. Esto implica revisar que tanto su voltaje como su corriente se ajusten a los valores proporcionados por el fabricante en las especificaciones técnicas. Esta precaución se torna aún más crucial dado que, una vez instalados en el tejado de una vivienda, el acceso para llevar a cabo revisiones técnicas puede resultar más complicado. En este contexto, se recomienda encarecidamente llevar a cabo una inspección completa de la instalación fotovoltaica y realizar mantenimiento preventivo de manera periódica.

La implementación de un sistema fotovoltaico podría resultar beneficioso para los sistemas de refrigeración y recirculación del agua. Esta propuesta se basa en la idea de aprovechar la energía solar para abastecer la operación de estos sistemas, lo cual contribuiría a reducir los costos económicos anuales asociados con el consumo de energía de estos sistemas cuando están conectados a la red eléctrica convencional.

Es importante considerar que en Ecuador, el costo de la energía convencional es notablemente bajo. Además, es relevante señalar que en la actualidad no existe una regulación establecida para los costos de energía proveniente de fuentes renovables. Esta falta de regulación tiene un impacto significativo en el análisis económico, ya que puede hacer que el proyecto no resulte rentable en términos financieros. Dadas estas circunstancias, se plantea un desafío en la viabilidad económica del proyecto debido a la competitividad de los costos actuales de la energía convencional en el país.

# Bibliografía

- [1] M. S. B. A. Rahim, M. F. N. B. Tajuddin, M. S. Saad, C. Nalini, Z. L. B. Edaris, and M. Hasanzaman, "Power generation improvement using active water cooling for photovoltaic (pv) panel," in *2021 Fourth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*. IEEE, 2021, pp. 1–6.
- [2] A. Risdiyanto, A. A. Kristi, B. Susanto, N. A. Rachman, A. Junaedi, and E. W. Mukti, "Implementation of photovoltaic water spray cooling system and its feasibility analysis," pp. 88–93, 2020.
- [3] V. Amalnath and R. Zachariah, "A simple control unit for temperature dependent forced water cooling in solar cpv/t collector," pp. 1–5, 2017.
- [4] D. Priegl, M. Jurčević, Ž. Penga, S. Nižetić, and M. Jelić, "Computational fluid dynamics analysis and design exploration of water-cooled photovoltaics subjected to various operating conditions," pp. 1–6, 2019.
- [5] S. S. Gurfude, C. Bhavitha, D. Tanusha, D. Mounika, S. P. G. Kake, M. SaiSudha, and P. Kulkarni, "Techno-economic analysis of 1 mwp floating solar pv plant," pp. 1–6, 2020.
- [6] R. Singh, S. K. Patel, N. Kumar, R. Singh, B. Singh, and A. Dhingra, "Photovoltaic module efficiency improvement via integration of water fountain," pp. 1–5, 2021.
- [7] S. F. Hui, H. Ho, W. Chan, K. Chan, W. Lo, and K. Cheng, "Floating solar cell power generation, power flow design and its connection and distribution," pp. 1–4, 2017.
- [8] H. Jeong, J. Choi, H. Lee, and Y. Ok, "Characteristics of floating photovoltaic power generation

- based on probability statistics,” in *2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019-ECCE Asia)*. IEEE, 2019, pp. 1322–1327.
- [9] H. Ahmad, A. Ahmad, and S. Ahmad, “Efficient energy management in a microgrid,” pp. 1–5, 2018.
- [10] J. A. Sancho Taday and P. C. Toalongo Paidá, “Análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante el uso de espejos en configuración dinámica,” 2021.
- [11] M. P. Aparicio, *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo, 2020.
- [12] D. Pilco and J. Jaramillo, “Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos,” *Univ. Técnica Part. Loja*, pp. 1–4, 2008.
- [13] R. d. P. Napán Maldonado and E. L. Peltzer y Blancá, “Estudio sobre materiales para la producción de hidrógeno con celdas solares y para su almacenamiento,” in *II Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería*, 2013.
- [14] C. A. Guzmán Niño, “Análisis del impacto ambiental de diferentes tipos de paneles solares según los materiales utilizados y los componentes tóxicos generados,” B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2017.
- [15] J. S. Guarín Contreras *et al.*, “Comparación de celdas fotovoltaicas monocristalina y policristalina en condiciones climáticas de bogotá,” 2022.
- [16] E. Durán Aranda *et al.*, *Prototipo experimental para la medida y caracterización de las curvas IV y PV de módulos y Arrays FVs: diseño, modelado, implementación y pruebas*, 2010.
- [17] R. M. W. Fonseca, “Análisis del comportamiento de módulos fotovoltaicos (diagnostico, modelado matemático de curvas iv y pv, y construcción de prototipo de trazador de curvas iv),” Ph.D. dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal), 2012.
- [18] A. Maleki, A. Haghghi, M. E. H. Assad, I. Mahariq, and M. A. Nazari, “A review on the approaches employed for cooling pv cells,” *Solar Energy*, vol. 209, pp. 170–185, 2020.
- [19] A. K. Hamzat, A. Z. Sahin, M. I. Omisanya, and L. M. Alhems, “Advances in pv and pvt cooling technologies: A review,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101360, 2021.

- [20] N. K. Sharma, M. Gaur, and C. Malvi, "Application of phase change materials for cooling of solar photovoltaic panels: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 47, pp. 6759–6765, 2021.
- [21] S. K. Gupta and S. Pradhan, "A review of recent advances and the role of nanofluid in solar photovoltaic thermal (pv/t) system," *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 782–791, 2021.
- [22] C. ROZAS, N. MORAGA, V. BUBNOVICH, and M. LETELIER, "Desarrollo histórico de los tubos de calor y sus aplicaciones," 2012.
- [23] W. Deng, X. Wang, X. Pan, S. Zhang, J. Ding, and G. Li, "Geometry design and performance optimization of a terrestrial radioisotope thermoelectric generator based on finite element analysis," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 151, p. 107883, 2021.
- [24] S. K. Pathak, P. O. Sharma, V. Goel, S. Bhattacharyya, H. Ş. Aybar, and J. P. Meyer, "A detailed review on the performance of photovoltaic/thermal system using various cooling methods," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 51, p. 101844, 2022.
- [25] T. M. Sathe and A. Dhoble, "A review on recent advancements in photovoltaic thermal techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 645–672, 2017.
- [26] T. J. M. Romero, E. F. V. Núñez, C. M. M. Valle, and P. A. G. Caba, "Comparación del comportamiento de refrigerantes secundarios a base de cloruro de calcio y propilenglicol en equipos chiller," *Dominio de las Ciencias*, vol. 5, no. 2, pp. 15–35, 2019.
- [27] H. F. Zúñiga-Puebla, E. Vallejo-Coral, and J. R. Vega Galaz, "Análisis termodinámico de un chiller de absorción de 1 y 2 etapas de una planta de cogeneración," *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 21, pp. 41–52, 2019.
- [28] A. J. Segarra Poma, "Ubicación óptima georreferenciada de centrales de generación fotovoltaica considerando restricciones de radiación solar y temperatura," B.S. thesis, 2022.
- [29] L. de Moraes Santos, A. J. Alves, D. M. Salles, C. A. Matias, J. L. Domingos, E. G. Domingues, and W. P. Calixto, "Technical analysis of the application of water in the improvement of the electrical efficiency in photovoltaic panels," in *2017 IEEE URUCON*, 2017, pp. 1–4.

- [30] X. Serrano-Guerrero, D. Alvarez-Lozano, and S. F. L. Romero, "Influence of local climate on the tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar irradiation: A case study in cuenca-ecuador," in *2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [31] M. G. Cachago Lluglluna, "Diseño y construcción de un sistema de refrigeración didáctico para enfriamiento de agua (chiller)," B.S. thesis, Quito, 2020., 2020.
- [32] "Arduino Mega 2560 Rev3," *Arduino Official Store.*, 25 july 2023. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- [33] "Tech specs," *Arduino Official Store.*, 25 july 2023. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- [34] "Arduino Uno Rev3," *Arduino Official Store.*, 25 july 2023. [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>
- [35] "Tech specs," *Arduino Official Store.*, 25 july 2023. [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>
- [36] "Arduino nano," *Arduino Official Store.*, 25 july 2023. [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>
- [37] J. Madruga Barriga *et al.*, "Diseño de un sistema de captación y motorización de los parámetros de operación de un biorreactor," 2023.

## ANEXOS

### 4.3. Programación lineal en Arduino del encendido y apagado de los sistema de Recirculación y Enfriamiento

```
#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h >

// Definición de los pines de los relés y del bus OneWire

const int relayPumpPin = 4;

const int relayCoolingSystemPin = 5;

const int oneWireBusPin = 9;

// Definición de los valores de temperatura límite

const int upperWaterTemperatureLimit = 25;

const int lowerWaterTemperatureLimit = 19;

const int upperSolarPanelTemperatureLimit = 40;

const int lowerSolarPanelTemperatureLimit = 30;

// Variables de estado

bool isCoolingSystemOn = false;

bool isPumpOn = false;

// Instancia del bus OneWire

OneWire oneWire(oneWireBusPin);
```



```

    // Instancia del sensor de temperatura
DallasTemperature sensors(& oneWire);

    // Instancia de la pantalla LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Dirección I2C y tamaño de la pantalla

void setup() {
    // Configurar pines de los relés como salida
    pinMode(relayPumpPin, OUTPUT);
    pinMode(relayCoolingSystemPin, OUTPUT);

    // Inicializar relés apagados
    digitalWrite(relayPumpPin, LOW);
    digitalWrite(relayCoolingSystemPin, LOW);

    // Iniciar comunicación serial
    Serial.begin(9600);

    // Iniciar el bus OneWire
    sensors.begin();

    // Iniciar la comunicación I2C de la pantalla LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("S:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("W:");
    lcd.init();

```

```

lcd.backlight();

lcd.clear();

}

void loop() {

// Leer las temperaturas de los sensores
sensors.requestTemperatures();

float waterTemperature = sensors.getTempCByIndex(0);
float solarPanelTemperature = sensors.getTempCByIndex(1);

// Actualizar los valores en la pantalla LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(^Agua: - String(waterTemperature, 1) + C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Panel: - String(solarPanelTemperature, 1) + C");

Serial.print("TH2O = ");
Serial.print(waterTemperature);
Serial.print("TPANEL = ");
Serial.println(solarPanelTemperature);

// Actualizar el estado de la bomba y el sistema de refrigeración
if (isCoolingSystemOn) {
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print(^ON ");
} else {
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print(^OFF");
}
}

```

```
}
```

```
    if (isPumpOn)
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("°N ");
} else {
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("°FF");
}
```

```
    // Verificar si el agua necesita ser enfriada
if (waterTemperature > upperWaterTemperatureLimit && !isCoolingSystemOn) {
// Encender el sistema de enfriamiento
digitalWrite(relayCoolingSystemPin, HIGH);
isCoolingSystemOn = true;
Serial.println("Encendiendo sistema de enfriamiento..."); }
else if (waterTemperature < lowerWaterTemperatureLimit && isCoolingSystemOn)
// Apagar el sistema de enfriamiento
digitalWrite(relayCoolingSystemPin, LOW);
isCoolingSystemOn = false;
Serial.println("Apagando sistema de enfriamiento...");
}
```

```
    // Verificar si la bomba puede ser encendida
if (!isCoolingSystemOn && solarPanelTemperature > upperSolarPanelTemperatureLimit && !isPumpOn)
// Encender la bomba
digitalWrite(relayPumpPin, HIGH);
```

```

isPumpOn = true;
Serial.println(.Encendiendo bomba de agua...");
}
else if (isPumpOn && (solarPanelTemperature <lowerSolarPanelTemperatureLimit || waterTemperature
<lowerWaterTemperatureLimit)) {
// Apagar la bomba
digitalWrite(relayPumpPin, LOW);
isPumpOn = false;
Serial.println(.Apagando bomba de agua...");
}
// Esperar un segundo antes de la siguiente iteración
delay(1000);
}

```

#### 4.4. Programación lineal en Arduino para la recolección de datos de Voltaje y Temperatura

```

#include <RTClib.h>
#include <Wire.h>
#include <SD.h>
#include "RTClib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h >
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
RTC_DS3231 RTC;

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

```

```

//#include <DHT.h>
//DHT dht(10,DHT22);
// Pin donde se conecta el bus 1-Wire sesor
const int pinDatosDQ = 9;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensors(oneWireObjeto);

//voltimetro

define NUMREADINGS 20//10 los valores para leer

int readings[NUMREADINGS]; //Las lecturas de la entrada analógica
int index = 0; //Indice de la lectura actual
int total = 0; // lectura Total
int average = 0; //Media

float vcc = 4.83; // valor real de la alimentacion de Arduino, Vcc
float r1 = 1000100; // 1M
float r2 = 97700; // 100K

File myFile;

void setup()
{
{
Serial.begin(9600);

```

```

    // Iniciamos el bus 1-Wire
    sensors.begin();
    // dht.begin();
    //voltmetro
    for (int i = 0; i < NUMREADINGS; i++)
    readings[i] = 0; //Pone toda la matriz a 0
    //
    if (!RTC.begin()) {
    Serial.println(F("Módulo RTC no encontrado !"));
    while (1);
    }

    // Si se ha perdido la corriente, fijar fecha y hora
    if (RTC.lostPower()) {
    // Fijar a fecha y hora de compilacion
    RTC.adjust(DateTime(F(DATE), F(TIME)));
    // Fijar a fecha y hora específica. En el ejemplo, 21 de Enero de 2016 a las 03:00:00
    // rtc.adjust(DateTime(2016, 1, 21, 3, 0, 0));
    }

    }

    Serial.print(Íniciando SD ...");
    if (!SD.begin(2)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
    }

```

```

Serial.println("inicializacion exitosa");

    if(!SD.exists("datalog.csv"))
    {
myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
if(myFile){
Serial.println(" Archivos nuevo, Escribiendo encabezado(fila1)");
myFile.println("Tiempo, T1, T2, V");
myFile.close();
    }else{

        Serial.println(.Error creando el archivo datalog.csv");
    }
}

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
}

void loop()
{
//Voltmetro

    total -= readings[index]; //Resta la última lectura
    readings[index] = analogRead(7); //Lee los valores de A0 y guarda en la matriz
    total += readings[index]; //Añade la lectura a total
    index ++; //Incrementa el índice

```

```

    if (index <=16) // para que no muestre los primeras lecturas
return(loop());
if (index <= NUMREADINGS)
index =0;
average = total/ NUMREADINGS;

    float v1 = (average * vcc) / 1024.0;
float v2 = 1.22*(v1 / (r2 / (r1 + r2)));
//
    //comando para leer temperatura
sensors.requestTemperatures();
// Obtener fecha actual y mostrar por Serial
DateTime now = RTC.now();

    float TemC1 = sensors.getTempCByIndex(0);
float TemC2 = sensors.getTempCByIndex(1);
// float TemC = dht.readTemperature();
//float Humd = dht.readTemperature();
myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE); //abrimoselarchivo

    if (myFile)
Serial.print(.Escribiendo SD: ");
float sensor1 = TemC1 ;
float sensor2 = TemC2 ;
// float AMBIENTE = TemC ;
// float humA = Humd ;

    myFile.print(now.year(), DEC);

```



```
myFile.print(',');
myFile.print(now.month(), DEC);
myFile.print('/') ;
myFile.print(now.day(), DEC);
myFile.print();
myFile.print(now.hour(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.minute(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.second(), DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(sensor1 );
myFile.print(",");
myFile.print(sensor2 );
//myFile.print(",");
// myFile.print(AMBIENTE );
//myFile.print(",");
//myFile.print(humA );
myFile.print(",");
myFile.println(v2);

myFile.close(); //cerramos el archivo

Serial.print("fecha y hora= ");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/') ;
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/') ;
```

```
Serial.print(now.day(), DEC);  
Serial.print();  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.minute(), DEC);  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.second(), DEC);
```

```
    Serial.print(" , sensor1= ");  
Serial.print(sensor1 ) ;  
Serial.print(" , sensor2= ");  
Serial.print(sensor2 ) ;  
Serial.print(" , Temperatura-Am= ");  
//Serial.print(AMBIENTE ) ;  
//Serial.print(" , Hambiente= ");  
//Serial.print(humA ) ;  
Serial.print(" , V= ");  
Serial.println(v2);
```

```
    if(isnan(TemC1)){  
lcd.setCursor(0,0);  
Serial.println(Revisar conexion");  
lcd.setCursor(0,1);  
Serial.println(Revisar conexion");
```

```
    } else {  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("T1:- String(TemC1,1)+C -"V:- String(v2,1)+"v");
```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("H:");
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(now.minute(), DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(now.second(), DEC);

    }
delay(30000);
}
}

```

## 4.5. Programación lineal en Arduino para la recolección de datos de Corriente

```

#include <RTClib.h>

#include <Wire.h>

#include <SD.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h >

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

RTC_DS3231 RTC;

File myFile;

void setup()

{

{

Serial.begin(9600);

//Iniciamos el bus1 - Wire

```

```

    if (!RTC.begin()) {
Serial.println(F("Módulo RTC no encontrado !"));
while (1);
}

    // Si se ha perdido la corriente, fijar fecha y hora
if (RTC.lostPower()) {
// Fijar a fecha y hora de compilacion
RTC.adjust(DateTime(F(DATE),F(TIME)));
    // Fijar a fecha y hora específica. En el ejemplo, 21 de Enero de 2016 a las 03:00:00
// rtc.adjust(DateTime(2016, 1, 21, 3, 0, 0));
}

}

    Serial.print(Íniciando SD ...");
if (!SD.begin(4)) {
Serial.println("No se pudo inicializar");
return;

}

Serial.println(ínicializacion exitosa");

    if(!SD.exists("datalog.csv"))
{
myFile = SD.open("datalog.csv", FILEWRITE);
if(myFile){

```

```

Serial.println(" Archivos nuevo, Escribiendo
encabezado(filal)");
myFile.println("Tiempo, A1, A2");
myFile.close();
}
else{

    Serial.println(.Error creando el archivo datalog.csv");
}
}

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();

}

void loop()
{
DateTime now = RTC.now();

//Amperimetro
unsigned int x=0;

float AcsValue=0.0,Samples=0.0,AvgAcs=0.0,AcsValueF=0.0;

    for (int x = 0; x <150; x++) //Get 150 samples
AcsValue = analogRead(A2); //Read current sensor
values
Samples = Samples + AcsValue; //Add samples together
delay (3); // let ADC settle before next sample 3ms

```

```

    }

    AvgAcs=Samples/150.0;//Taking Average of Samples

    //((AvgAcs * (5.0 / 1024.0)) is converitng the read voltage in 0-5 volts
    //2.5 is offset(I assumed that arduino is working on 5v so the viout at no current comes
    //out to be 2.5 which is out offset. If your arduino is working on different voltage than
    //you must change the offset according to the input voltage)

    //0.066v(66mV) is rise in output voltage when 1A current
    flows at input
    AcsValueF = (2.5 - (AvgAcs * (5.0 / 1024.0)) )/0.066;

    //Serial.print(AcsValueF);//Print the read current on Serial monitor

    //Amperimetro
    unsigned int x2=0;
    float
    AcsValue2=0.0,Samples2=0.0,AvgAcs2=0.0,AcsValueF2=0.0;

    for (int x2 = 0; x2 <150; x2++) //Get 150 samples
    AcsValue2 = analogRead(A1); //Read current sensor
    values
    Samples2 = Samples2 + AcsValue2; //Add samples together
    delay (3); // let ADC settle before next sample 3ms

    }

    AvgAcs2=Samples2/150.0;//Taking Average of Samples

```

```

    //((AvgAcs * (5.0 / 1024.0)) is converitng the read voltage in 0-5 volts
//2.5 is offset(I assumed that arduino is working on 5v so the viout at no current comes
//out to be 2.5 which is out offset. If your arduino is working on different voltage than
//you must change the offset according to the input voltage)
//0.066v(66mV) is rise in output voltage when 1A current flows at input
AcsValueF2 = (2.5 - (AvgAcs2 * (5.0 / 1024.0)) )/0.066;

```

```

    //Serial.print(AcsValueF);//Print the read current on Serial monitor
myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRRITE);//abrimoselarchivo

```

```

    if (myFile) {
Serial.print(.Escribiendo SD: ");
myFile.print(now.year(), DEC);
myFile.print(',');
myFile.print(now.month(), DEC);
myFile.print('/');
myFile.print(now.day(), DEC);
myFile.print();
myFile.print(now.hour(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.minute(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.second(), DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(AcsValueF);
myFile.print(",");
myFile.print(AcsValueF2);

```

```
myFile.println(",");

    myFile.close(); //cerramos el archivo

    Serial.print("fecha y hora= ");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print();
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);

    Serial.print(", A1= ");
Serial.print(AcsValueF );
Serial.print(", A2= ");
Serial.print(AcsValueF2 );
Serial.println();

    if(isnan(AcsValueF)||isnan (AcsValueF2)){
lcd.setCursor(0,0);
Serial.println(Revisar conexion");
lcd.setCursor(0,1);
Serial.println(Revisar conexion");
```



```

    } else {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(C1:- String(AcsValueF,1)+.^ -C2:-
String(AcsValueF2,1)+.^ ");
lcd.setCursor(0,1);
// lcd.print("T2:- String(TemC,1)+C -"V:-
String(v2,1));

    lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("H:");
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(now.minute(), DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(now.second(), DEC);

    }
delay(30000);
}
}

```

#### 4.6. Datasheet Paneles Solares (Yingli Solar) YGE60