

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA, TANTO CON FUENTE DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS Y CONECTADO A LA RED, PARA LA ALIMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL MONITOREO EN LÍNEA DE LAS TUBERÍAS DE TRASPORTE PETROLERO UTILIZANDO UN SISTEMA ACÚSTICO, ASÍ COMO DE LAS ESTRUCTURAS MECÁNICAS DEL PROTOTIPO**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO EN LINEA DE LAS TUBERÍAS DE TRASPORTE PETROLERO UTILIZANDO UN SISTEMA ACÚSTICO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**Autor:**

**IAN JOEL RUALES REVELO**

[ian.ruales@epn.edu.ec](mailto:ian.ruales@epn.edu.ec)

**Director:**

**DR. EDUARDO FAUSTO AVALOS CASCANTE**

[eduardo.avalos@epn.edu.ec](mailto:eduardo.avalos@epn.edu.ec)

**Quito, octubre 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Ian Joel Ruales Revelo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Sr. Ian Joel Ruales Revelo**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Ian Joel Ruales Revelo, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Eduardo Fausto Ávalos Cascante**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

**Sr. Ian Joel Ruales Revelo**

**Dr. Eduardo Fausto Ávalos Cascante**

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a las personas más importantes de mi vida: mis padres, Esthela Revelo y Marco Ruales. A lo largo de mi trayectoria me han brindado un apoyo incondicional, compartiendo su sabiduría y experiencia para superar los desafíos. Gran parte de este logro se debe a ellos.

También quiero dedicar este trabajo a mi querida Imouto, Allyson. A pesar de tener un carácter bipolar, siempre puedo contar con ella tanto en los momentos buenos como en los difíciles.

Asimismo, deseo dedicar este trabajo a toda mi familia en general: mis primos, tíos y abuelos. Aunque a veces puede pasar desapercibido, cada uno de ellos ha aportado su granito de arena para que yo pueda estar donde me encuentro ahora.

Ian R

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Esthela Revelo y Marco Ruales, quienes han sido y serán un pilar fundamental en mi vida, brindándome el apoyo necesario para seguir avanzando. También quiero agradecer a mi Imouto Allyson con quien, a pesar de nuestras discusiones y diferencias, siempre encontramos la manera de ayudarnos mutuamente.

Asimismo, quiero extender mi agradecimiento a toda mi familia: primos, tíos y abuelitos. Nunca podré agradecerles lo suficiente por todo lo que han hecho por mí, pero al menos quiero dejar constancia de mi profundo agradecimiento en este documento.

No puedo dejar de agradecer a todos mis amigos que han formado parte de mi formación académica: Oscar, Genesis, Kaichou, Mad, Sasuki, Omar, German, Fortes, Ismael, Alex, Mike, Panda, Valen, Sif, Mario, Kevin, Luis, Paola, Sebas, Alejandra y Pamela. Gracias por sus aportes, su apoyo y por esas noches en las que a pesar de tener que estudiar, siempre encontrábamos tiempo para divertirnos con los videojuegos y relajarnos del estrés que conlleva la vida estudiantil.

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi fiel compañera, mi PC, que, a pesar de estar algo viejita, nunca se rindió y juntos logramos llevar a cabo todos los proyectos y tareas requeridos, incluyendo la culminación de este trabajo de titulación.

Con todo mi corazón, les expreso mi eterno agradecimiento.

Ian Ruales

『 El juego se gana antes de empezar 』

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 ALCANCE .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1 ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>4</b>
1.4.1.1 Energía solar .....	4
<b>1.4.2 IRRADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.3 ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.4 PRINCIPIOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.5 CELDAS FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>8</b>
1.4.5.1 Principio de funcionamiento .....	9
1.4.5.2 Circuito Equivalente de celdas fotovoltaicas .....	9
1.4.5.3 Curva general característica de los paneles fotovoltaicos .....	10
<b>1.4.6 TIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>11</b>
1.4.6.1 Sistema de energía fotovoltaica conectados a la red .....	11
1.4.6.2 Sistema de energía fotovoltaica aislados .....	11
1.4.6.3 Sistema de energía fotovoltaica de conexión híbrida .....	11
<b>1.4.7 ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA HÍBRIDA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.7.1 Módulos fotovoltaicos .....</b>	<b>12</b>
1.4.7.1.1 Paneles fotovoltaicos Policristalinos .....	13
1.4.7.1.2 Paneles fotovoltaicos Monocristalinos .....	13
<b>1.4.7.2 Características eléctricas .....</b>	<b>14</b>
1.4.7.2.1 Voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) .....	14
1.4.7.2.2 Voltaje nominal ( $V_n$ ) .....	14
1.4.7.2.3 Voltaje máximo ( $V_{mp}$ ) .....	14
1.4.7.2.4 Potencia Máxima ( $P_M$ ) .....	14

1.4.7.2.5 Corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ ) .....	14
1.4.7.2.6 Corriente máxima ( $I_{mp}$ ) .....	14
<b>1.4.7.3 Convertidor DC-DC</b> .....	14
1.4.7.3.1 Convertidor DC-DC Reductor .....	15
1.4.7.3.2 Convertidor DC-DC Elevador.....	15
1.4.7.3.3 Convertidor DC-DC Reductor - Elevador .....	15
<b>1.4.7.4 Inversor DC – AC</b> .....	15
1.4.7.4.1 Inversor Simple Analógico.....	16
1.4.7.4.2 Inversor Simple Digital .....	16
<b>1.4.7.5 Batería</b> .....	16
1.4.7.5.1 Tipos de baterías .....	16
1.4.7.5.2 Baterías de plomo ácido .....	16
1.4.7.5.3 Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd).....	17
1.4.7.5.4 Baterías de sulfuro de sodio.....	17
1.4.7.5.5 Baterías de litio.....	18
1.4.7.5.6 Baterías de Flujo – Redox.....	18
1.4.7.5.7 Tipos de conexiones.....	19
1.4.7.5.8 Cálculo del banco de baterías.....	19
1.4.7.5.9 Determinar el consumo de energía.....	19
1.4.7.5.10 Ciclo de vida de una batería .....	20
1.4.7.5.11 Consideraciones de Descarga.....	20
<b>1.4.8 EFICIENCIA</b> .....	21
1.4.8.1 Material de fabricación .....	21
1.4.8.2 Reflexión.....	21
1.4.8.3 Temperatura del panel fotovoltaico .....	21
<b>1.4.9 SEGUIMIENTO SOLAR</b> .....	21
1.4.9.1 Dos ejes .....	21
1.4.9.2 Eje polar.....	21
1.4.9.3 Azimutal .....	22
1.4.9.4 Horizontal .....	22
<b>1.4.10 CONDUCTORES</b> .....	22
<b>1.4.11 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA</b> .....	23
1.4.11.1 Elementos de Protección de circuitos electrónicos.....	23
1.4.11.1.1 Fusibles .....	23
1.4.11.1.2 Relé termomagnético.....	24
1.4.11.1.3 Aislamiento de cables .....	24

<b>1.4.11.2 Elementos de maniobra</b> .....	24
1.4.11.2.1 Pulsadores.....	24
1.4.11.2.2 Interruptores .....	25
1.4.11.2.3 Conmutadores.....	25
<b>1.4.12 MEDIDORES DE ENERGÍA</b> .....	25
1.4.12.1 Voltímetros .....	25
1.4.12.2 Amperímetro.....	26
<b>2 METODOLOGÍA</b> .....	27
<b>2.1 EXIGENCIAS DEL SISTEMA DE ENERGÍA EN MINIATURA</b> .....	27
<b>2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE ENERGÍA</b> .....	28
<b>2.3 DISEÑO DEL HARDWARE</b> .....	29
<b>2.3.1 BATERÍA</b> .....	30
<b>2.3.2 SUMINISTRO DE ENERGÍA</b> .....	31
2.3.2.1 Suministro de energía por red eléctrica.....	32
2.3.2.2 Suministro de energía Solar.....	33
<b>2.3.3 PROTECCIONES</b> .....	35
2.3.3.1 Protección entrada de energía por red eléctrica .....	35
2.3.3.2 Protección entrada de energía por modulo fotovoltaico.....	35
<b>2.3.4 REGULADORES DE VOLTAJE</b> .....	36
2.3.4.1 Diseñar y construir .....	36
2.3.4.2 Integrados .....	37
2.3.4.3 Módulos convertidores DC - DC.....	37
<b>2.3.5 SENSORES Y ACTUADORES</b> .....	38
<b>2.3.5.1 Sensores</b> .....	38
2.3.5.1.1 Sensor de voltaje .....	39
2.3.5.1.2 Modulo sensor de Luz (LDR).....	39
2.3.5.1.3 Sensor de presencia (PIR).....	40
2.3.5.1.4 Cámara.....	40
<b>2.3.5.2 Actuadores</b> .....	41
2.3.5.2.1 Switch.....	41
2.3.5.2.2 Modulo Relé.....	41
2.3.5.2.3 Servomotor.....	43
<b>2.3.6 CONDUCTORES</b> .....	44
<b>2.3.7 MICROCONTROLADORES</b> .....	45
2.3.7.1 Arduino nano.....	45
2.3.7.2 Raspberry pi 3.....	47

2.3.8 CIRCUITO IMPRESO PCB.....	48
2.3.9 CAJA DE MONTAJE.....	49
2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE.....	50
2.4.1 PROGRAMA DEL SISTEMA DE ENERGÍA Y MODULO FOTOVOLTAICO .....	50
2.4.2 PROGRAMA DEL SISTEMA DE VIGILANCIA .....	52
2.5 MODULO ADICIONAL EXTERNO.....	52
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
3.1 RESULTADOS.....	53
3.1.1 SISTEMA DE ENERGÍA FUNCIONANDO TOTALMENTE ARMADO.....	53
3.1.2 SEGUIDOR DE LUZ SOLAR .....	54
3.1.3 CARGA DE LA BATERÍA .....	55
3.1.3.1 Carga por modulo fotovoltaico.....	56
3.1.3.2 Carga por red eléctrica.....	58
3.1.4 AUTONOMÍA DE LA BATERÍA .....	60
3.1.5 VOLTAJE DE SALIDA A LOS PERIFÉRICOS.....	61
3.1.5.1 Voltaje de salida DC .....	62
3.1.5.2 Voltaje de salida AC .....	62
3.2 CONCLUSIONES.....	63
3.3 RECOMENDACIONES.....	64
4. REFERENCIAS.....	66
5 ANEXOS.....	73

## RESUMEN

En el presente documento se describe el diseño y la implementación de un sistema de energía que se alimenta mediante una batería, la cual se carga tanto a través de un módulo fotovoltaico o mediante la red eléctrica, este sistema de energía está conformado de un módulo fotovoltaico capaz de seguir la trayectoria del sol con el objetivo de obtener la mayor irradiación posible además de incorporar un sistema de vigilancia diseñado específicamente para prevenir el robo del sistema de energía porque es para uso en campo, al finalizar se llevara a cabo pruebas exhaustivas para validar el funcionamiento adecuado del diseño implementado y garantizar que el sistema de energía cumple con todas las características necesarias planteadas para ello se verifican detalladamente los resultados obtenidos analizándolos de tal forma de que el sistema de energía está operando de manera óptima, este proceso de validación es fundamental para garantizar que el sistema cumple con su propósito y funcione de manera eficiente y confiable.

**PALABRAS CLAVE:** modulo fotovoltaico, sistema carga, baterías, sistema, energía, carga fotovoltaica, sistema vigilancia

## ABSTRACT

This document describes the design and implementation of an energy system that is powered by a battery, which is charged both through a photovoltaic module or through the electrical network, this energy system is made up of a photovoltaic module layers of following the trajectory of the sun with the aim of obtaining the greatest possible irradiation in addition to incorporating a surveillance system specifically designed to prevent theft of the power system because it is for field use, at the end exhaustive tests will be carried out to validate the proper functioning of the implemented design and guarantee that the energy system complies with all the necessary characteristics proposed for this, the results obtained are verified in detail, analyzing them in such a way that the energy system is operating optimally, this validation process is essential to ensure that the system fulfills its purpose and works efficiently and reliably.

**KEYWORDS:** photovoltaic module, charging system, batteries, system, energy, photovoltaic charge, surveillance system

# 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del nivel de vida del ser humano y el acceso a tecnologías de aprovechamiento energético son dos elementos estrechamente ligados. En la actualidad, el uso de fuentes energéticas portátiles ha crecido exponencialmente debido a la gran cantidad de dispositivos portables que existen como los teléfonos, mouses inalámbricos, tabletas, portátiles, vehículos, etc. Teniendo en cuenta esto, el desarrollo de energías portables que puedan alimentar dichos apartados electrónicos se ha convertido en una prioridad. [1]

La opción más utilizada para alimentar a los aparatos electrónicos portátiles son las baterías que proporcionan un nivel de voltaje constante a nuestro sistema, y estas generalmente se cargan con tomacorrientes en el hogar, sin embargo, se ha popularizado el uso de sistemas fotovoltaicos para este propósito debido a que estas aprovechan la radiación solar para convertir esta energía en electricidad. El uso de energía solar ha ido ganando aceptación debido a que es una energía que se puede encontrar en cualquier parte del mundo y es amigable con el medio ambiente.

La energía eléctrica desempeña un papel importante en el ámbito social, económico y ambiental [2] por lo que mediante la batería y un sistema de carga por medio de sistemas fotovoltaicos se puede obtener un sistema completamente independiente el cual podría alimentar a un circuito electrónico sin la necesidad de recurrir a cargarlo mediante un tomacorriente, de esa forma también se ayuda al medio ambiente y se obtiene una energía limpia y renovable. Sin embargo, hay que tener en consideración que el rendimiento de un sistema fotovoltaico depende de factores como la cantidad de radiación ambiental, el polvo, la temperatura, el clima, etc, lo que provoca que existan muchas variaciones en su salida, así que, es necesario contar con reguladores que aseguren que el voltaje que reciba la batería sea lo más constante posible con el fin de no dañar las celdas y alargar su vida útil.

En el presente trabajo, nos centraremos en analizar todos los componentes y partes necesarias para implementar un sistema de energía que cumpla las características optimas y pueda suministrar de energía a un sistema de monitoreo en línea de las tuberías de transporte petrolero, utilizando un sistema acústico.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de energía que permita alimentar los sistemas acústicos y los sistemas de datos. Este sistema se basará en una batería recargable, la cual podrá ser cargada tanto a través de paneles fotovoltaicos o mediante una conexión a la red eléctrica. Además, se incorporará una cámara de vigilancia para prevenir posibles robos.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los requerimientos energéticos del sistema acústico y del sistema de procesamiento para poder establecer las características además de aptitudes que sean necesarias para el sistema fotovoltaico y de la conexión a la red eléctrica.
- Diseñar un sistema fotovoltaico que pueda proporcionar la energía necesaria para que el sistema funcione sin problemas, incluyendo la selección de las celdas solares, la batería, el control, regulación y sus debidas protecciones.
- Analizar los paneles solares que existen en el mercado y seleccionar aquellos que cumplan los requisitos necesarios para el diseño.
- Analizar las baterías que existan en el mercado y seleccionar la batería que proporcione un nivel de autonomía óptimo y sea segura para la carga mediante energía fotovoltaica y garantice el funcionamiento del sistema.
- Realizar un seguimiento solar para aumentar las horas de luz que recibe en modulo fotovoltaico.
- Seleccionar un cargador adecuado para cargar la batería mediante la red eléctrica
- Diseñar un sistema de vigilancia que cuente con una cámara para detectar e identificar al intruso.
- Elaborar el sistema electrónico de control destinado al monitoreo y control de energía, así como al seguimiento solar.
- Diseñar el sistema electrónico de control para el sistema de energía y seguimiento solar.
- Realiza pruebas del sistema de energía para asegurar su funcionamiento adecuado y realizar las correcciones necesarias con el fin de mejorar el rendimiento del sistema de ser necesario.

### **1.3 ALCANCE**

Se investigo acerca de la energía por medio de paneles solares.

Se investigo acerca de los requerimientos necesarios para poner en marcha un sistema de energía fotovoltaica con el objetivo de establecer las características que sean necesarias para su funcionamiento.

Se investigo un método para que el panel solar pueda seguir la trayectoria del sol con el fin de obtener el máximo rendimiento posible.

Se realizo el diseño del circuito electrónico principal con los componentes necesarios para que el sistema de carga fotovoltaica funcione y el panel siga la luz solar.

Se selecciono los componentes electrónicos adecuados para el funcionamiento del sistema de energía.

Se diseño el sistema de energía compuesto por sus respectivos reguladores DC-DC, batería de Li-Ion y protecciones.

Se diseño placas de circuito impreso con el fin de acoplar los diferentes elementos comerciales como sensores, borneras, protecciones, microcontroladores, etc.

Se implemento displays en donde se muestre la corriente y el voltaje de la batería como del panel solar para conocer el estado de estos.

Se calibro los sensores de luz de acuerdo con 3 estados: noche, Penumbra y soleado.

Se diseño un software y hardware para el seguimiento de la luz solar, lo que conseguirá que el panel siempre obtenga luz solar perpendicularmente.

Se realizo pruebas reales para verificar el funcionamiento del sistema con energía fotovoltaica y el seguimiento solar para realizar los ajustes necesarios.

Se realizo la programación correspondiente para controlar la distribución de energía y la carga de la batería.

Se realizo la comprobación del funcionamiento del seguimiento solar, además del funcionamiento correcto de las baterías y suministro de energía hacia los diferentes elementos del sistema de control.

## 1.4 MARCO TEÓRICO

### 1.4.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Son todos los procesos industriales disponibles para obtener energía limpia. La luz solar, los vientos derivados de la diferencia de temperatura, y los recursos fluviales han dado lugar a un conjunto de tecnologías capaces de proporcionar energía eléctrica y climatización sin el consumo de combustibles de origen fósil [3].

Este tipo de energías ayuda a reducir la contaminación reduciendo la emisión de gases invernadores hacia la atmosfera.



**Figura 1.1.** Energías Renovables solares y eólicas [3]

#### 1.4.1.1 Energía solar

El Sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso (principalmente hidrógeno), con un diámetro de 1,4 millones de km. En su interior existen elevadas presiones, presentándose temperaturas de varios millones de grados que producen de forma espontánea e ininterrumpida un proceso de fusión nuclear [4].

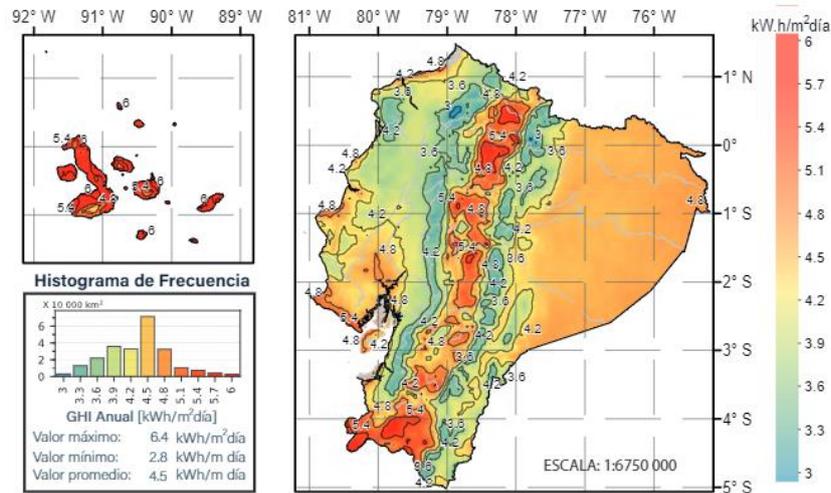
Esta energía es irradiada hacia el planeta tierra la cual es aprovechada por los animales y plantas que habitan en ella, esta energía abunda por todo el planeta por lo que se desarrollan programas para su aprovechamiento con paneles fotovoltaicos o paneles de calentamiento de agua.



**Figura 1.2.** instalación fotovoltaica emblemática, al pie de las torres de refrigeración de la central nuclear de Rancho Seco [4]

## 1.4.2 IRRADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR

La irradiación solar ecuatoriana es un factor clave para el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, por datos de Meteo – Scinergy de la Escuela Politécnica Nacional se tiene un valor promedio de 4.5 [kWh/m<sup>2</sup> día] esto se puede apreciar de mejor forma en la figura 1.3:



**Figura 1.3.** Irradiación en el territorio ecuatoriano [5]

Analizando la figura 1.3 se observa que, en las provincias de la región Sierra como Ibarra, Quito, Loja, etc se tiene gran irradiación, sin embargo, en la zona del Oriente esta irradiación se reduce unos 0.4 puntos. También se observa que en la zona montañosa en los límites de la Sierra, Costa y Amazonia la irradiación es muy baja por lo que no es factible utilizar sistemas de energía fotovoltaica en estos lugares. En la zona Insular, la irradiación es muy alta debido a la ausencia de montañas, por lo cual es un buen lugar para colocar sistemas de energía fotovoltaica.

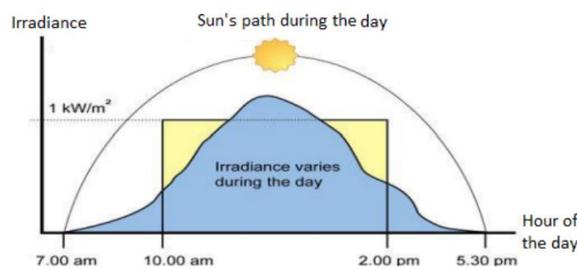
Debido a que el sistema fotovoltaico se instalara en tuberías de petróleo la irradiación que se debe tomar en cuenta es la que se encuentra ubicada en el Oriente.

**Tabla 1.1.** Irradiación promedio por meses en el oriente ecuatoriano [5]

Mes	2022 irradiación promedio [kWh /m <sup>2</sup> dia]
Enero	4.5
Febrero	4.4
Marzo	4.3
Abril	4.3
Mayo	4.3
Junio	4.2
Julio	4.3
Agosto	4.4
Septiembre	5.5
Octubre	5.4
Noviembre	4.8
Diciembre	4.6

### 1.4.3 ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE

Durante el transcurso de un día, la disponibilidad de luz solar no es constante. Hay momentos en los que la radiación solar alcanza su punto máximo, mientras que en otros momentos la intensidad disminuye. En la figura 1.4 se ilustra aproximadamente las horas en las que la irradiación solar es más alta, siendo el mediodía el momento óptimo para aprovechar al máximo la energía solar.



**Figura 1.4.** Horas del día vs irradiación [6]

se puede determinar la irradiación que tendrá en su sitio de funcionamiento (HSP) [7]

$$[7] \ HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (1.1)$$

Con la fórmula de HSP se puede determinar la potencia que puede llegar a generar un panel aproximadamente con la siguiente fórmula [8]:

$$[7] \quad P_{gr} = \frac{L_{Md} * 0.5}{HSP * Pr} \quad (1.2)$$

Donde:

$L_{md}$  = Gasto energético promedio

HPS = horas sol pico

Pr = Factor de funcionamiento global constante (0.9)

$P_{gr}$  = Potencia generada

Aplicando las fórmulas 1.1 y 1.2, se puede estimar la capacidad potencial de generación de un panel solar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en la práctica, esta capacidad puede variar debido a diversos factores externos, como el clima y la acumulación de polvo, que no se tienen en cuenta en los cálculos teóricos.

Si se conocen las características del módulo solar, se puede aplicar la ecuación 3 para obtener el valor de la potencia hora que puede generar, considerando el Punto HSP específico del lugar de instalación y los valores proporcionados por el fabricante del módulo solar [9].

$$[9] \quad E_{pt} = PotMax * HSP \left( \frac{V_{pmax}}{V_p} \right) \quad (1.3)$$

Donde:

$E_{pt}$  = Potencia que puede generar el panel (Wh)

PotMax = Potencia máxima, Dato de placa del módulo fotovoltaico (W)

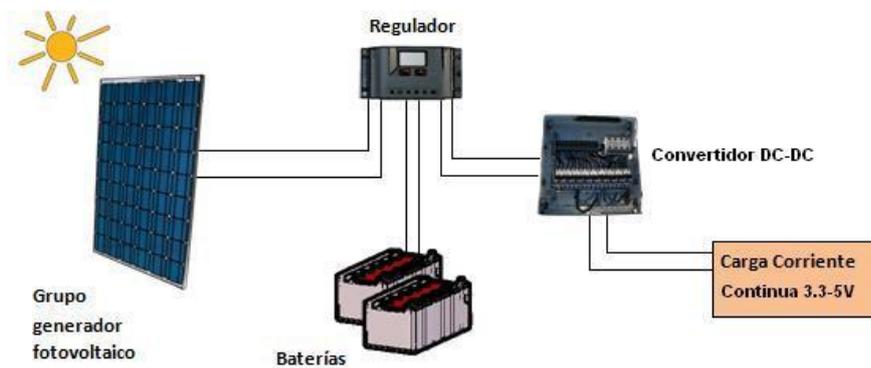
HSP = Horas de sol pico (h/día)

$V_{pmax}$  = Voltaje máximo en circuito abierto (v)

$V_p$  = Voltaje de funcionamiento (v)

#### **1.4.4 PRINCIPIOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua [10].

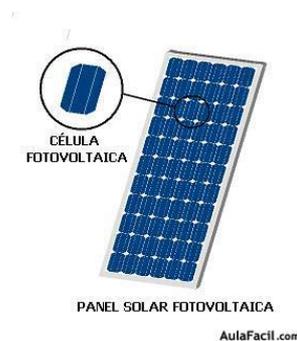


**Figura 1.5.** Partes de un Sistema fotovoltaico [11]

El resto de los equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. A grandes rasgos, los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grupos [10]:

#### 1.4.5 CELDAS FOTOVOLTAICAS

Un panel solar es un dispositivo que convierte la energía del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión. El efecto fotovoltaico es convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, los cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas [12].



**Figura 1.6.** Panel Fotovoltaico [13]

Los paneles fotovoltaicos pueden ser de varios tipos, tamaños e incluso voltajes por lo cual es necesario saber la necesidad de la carga a la cual se necesita de esta forma se empieza a buscar el mejor panel fotovoltaico que se adapte a las necesidades de todo el sistema a energizar.

### 1.4.5.1 Principio de funcionamiento

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 [14].

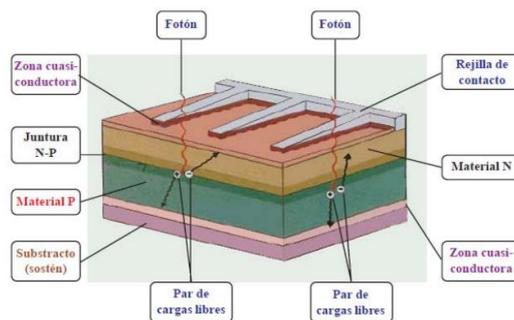


Figura 1.7. Diagrama General de una Celda Fotovoltaica [15]

### 1.4.5.2 Circuito Equivalente de celdas fotovoltaicas

El circuito equivalente de una celda fotovoltaica se ve representada como un circuito que consta de una fuente de corriente, un diodo y dos resistencias tal y como se puede apreciar en la figura 1.7.

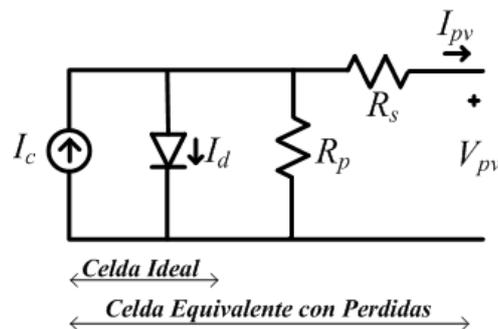


Figura 1.8. Circuito Equivalente de una celda fotovoltaica[16]

La corriente de la celda fotovoltaica, tomando en cuenta la ley Kirchhoff se puede determinar por la siguiente ecuación [16]:

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (1.4)$$

$$I = I_L - I_o \left[ \exp\left(\frac{qV_o}{KT}\right) - 1 \right] - \frac{V_o}{R_{SH}} \quad (1.5)$$

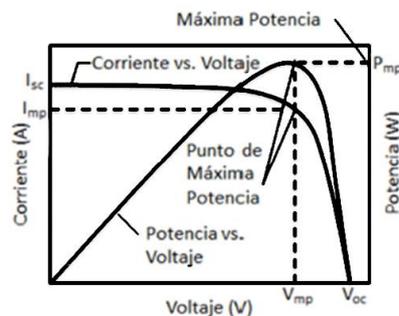
En donde:

- $q$  = Representa la constante de la carga eléctrica ( $1.6 \cdot 10^{-19}$  C)
- $K$  = Representa la constante de Boltzmann ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K )
- $T$  = Representa la temperatura en grados Kelvin (K)
- $I_o$  = Representa Corriente de reversa del diodo.
- $R_{SH}$  = Representa Resistencia de Shunt.
- $R_s$  = Representa la Resistencia Interna
- $I_L$  = Representa la corriente generada por la celda
- $V_o$  = Representa el voltaje del diodo

La cantidad de corriente y voltaje que genera una celda fotovoltaica depende principalmente de la cantidad de irradiancia en su superficie y de la temperatura del ambiente. Un aumento del nivel de irradiancia conduce a un aumento de la corriente de salida, mientras que una temperatura más alta provoca una disminución en el voltaje de salida [17].

#### 1.4.5.3 Curva general característica de los paneles fotovoltaicos

Al trazar el voltaje en función de la corriente, se obtiene una curva que muestra una relación específica. Esta curva revela cuando el voltaje alcanza cero, la corriente alcanza su valor máximo, lo que indica una ausencia de diferencia de potencial. Por otro lado, cuando el voltaje alcanza su máximo, la corriente se reduce a cero, indicando la ausencia de flujo de electrones. Estos puntos se conocen como la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto, respectivamente. La corriente de cortocircuito varía según la radiación solar y el área de las celdas solares, mientras que el voltaje de circuito abierto está determinado por las propiedades del material semiconductor, la iluminación y la temperatura. Si la temperatura de la celda aumenta, el voltaje de circuito abierto disminuye. Dentro de la curva también se encuentra el punto de máxima potencia, que es el resultado más alto obtenido al multiplicar la corriente por el voltaje [18].



**Figura 1.9.** Curva característica de un panel fotovoltaico entre corriente y voltaje [18]

En la figura 1.9 se puede apreciar gráficamente el comportamiento de una celda fotovoltaica esto puede variar un poco de acuerdo con la constitución del panel, pero en grandes rasgos su curva característica sería la visualizada.

## 1.4.6 TIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

### 1.4.6.1 Sistema de energía fotovoltaica conectados a la red

Estos sistemas producen su energía en campos donde existen muchas celdas fotovoltaicas las cuales son reguladas y transmitidas a varios puntos a través de la red eléctrica [19].



Figura 1.10. Sistemas conectados a la red eléctrica [20]

### 1.4.6.2 Sistema de energía fotovoltaica aislados

Estos son sistemas que suministran energía solo de las celdas fotovoltaicas que están instaladas en el lugar de consumo de la energía, este sistema es independiente de la red eléctrica [19].

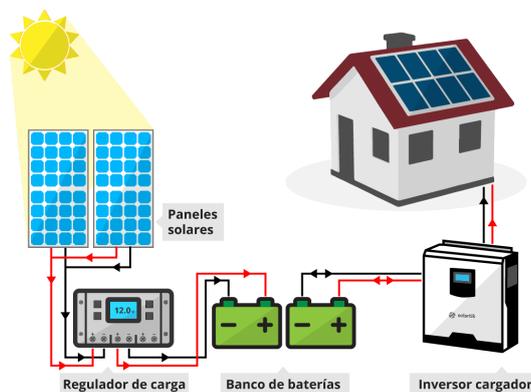


Figura 1.11. Sistemas fuera de la red [21]

### 1.4.6.3 Sistema de energía fotovoltaica de conexión híbrida

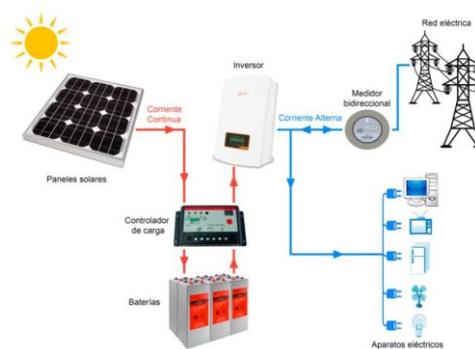
Este tipo de sistema se basa en tener energía fotovoltaica principalmente, pero en caso de necesitarse más, se utilizará del sistema eléctrico de la red [19].



**Figura 1.12.** Energía solar fotovoltaica – Sistema Híbrido [22]

### 1.4.7 ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA HÍBRIDA

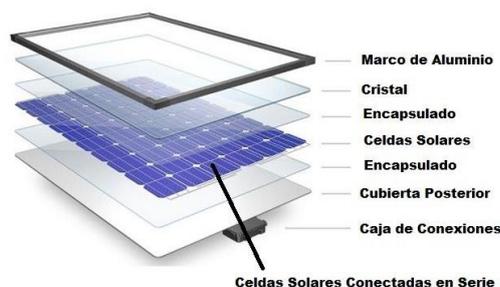
Un sistema fotovoltaico aislado se compone de dos fuentes de energía principales. Una de estas fuentes es el panel fotovoltaico, que es fundamental para la generación de energía en este tipo de instalaciones. El panel fotovoltaico aprovecha la radiación solar y la convierte en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La otra fuente es a través de la red eléctrica, ya que brinda flexibilidad y respaldo en caso de condiciones climáticas desfavorables situaciones donde se necesite una mayor cantidad de energía de la que el panel fotovoltaico puede generar.



**Figura 1.13.** Elementos de una instalación fotovoltaica híbrida [21]

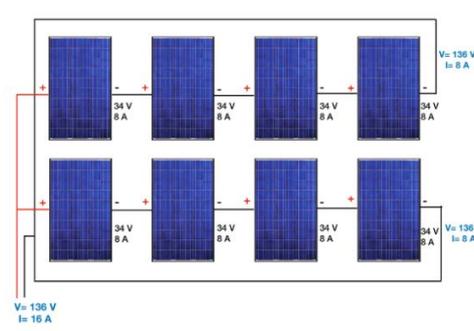
#### 1.4.7.1 Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos son elementos que se encuentran en una determinada configuración, estos cuentan con algunos elementos extra como: encapsulados, cubiertas posteriores y anteriores, marcos de aluminio, terminales, etc.



**Figura 1.14.** Partes de un módulo fotovoltaico[23]

Los módulos fotovoltaicos generalmente poseen varias celdas en configuración de serie y paralelo. Con este tipo de conexión sumaremos los voltajes, si están conectados en serie, y sumaremos las corrientes si están conectados en paralelo [24].



**Figura 1.15.** Conexión serie/paralelo de celdas fotovoltaicas [24]

Haciendo arreglos en serie y paralelo se puede obtener la corriente y voltaje que sea necesario, sin embargo, este método de conexión no solo se puede aplicar a celdas fotovoltaicas, sino también a los módulos fotovoltaicos y baterías debido a que es el mismo principio.

En el mercado hay varios tamaños de paneles solares, la mayoría están hecho de cristales monocristalinos y policristalinos.



**Figura 1.16.** Diferencia entre paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos [25]

#### 1.4.7.1.1 Paneles fotovoltaicos Policristalinos

Los paneles solares policristalinos se componen de múltiples cristales de silicio que se unen. Estos paneles se fabrican mediante un proceso en el cual se enfría artificialmente una célula monocristalina de silicio. Durante este proceso, el silicio se fragmenta y se forman cristales individuales. Una vez que el silicio se ha enfriado y cristalizado, se corta en placas que se convierten en los módulos fotovoltaicos presentes en los paneles solares policristalinos. [26]

#### 1.4.7.1.2 Paneles fotovoltaicos Monocristalinos

El panel fotovoltaico monocristalino está compuesto por células de un único cristal de silicio, tiene mayor eficiencia y rendimiento que el panel solar policristalino, lo que significa que genera más energía con la misma cantidad de luz solar. Además, el panel solar monocristalino tiende

a ser más duradero que el policristalino y ofrece una mayor resistencia a la sombra y al viento. Esto significa que requiere menos mantenimiento a largo plazo, además, un panel monocristalino tiene menos probabilidades de degradarse con el paso del tiempo. Sin embargo, estos son más difíciles de fabricar [14].

#### **1.4.7.2 Características eléctricas**

En los módulos fotovoltaicos se cuenta con diversas características eléctricas que nos sirven de información para determinar si el módulo fotovoltaico cumple con los requerimientos que se necesita, estos parámetros son los siguientes [27]:

##### *1.4.7.2.1 Voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ )*

Es la medida máxima de voltaje que se puede obtener en un panel solar cuando no hay carga conectada a sus terminales. En este escenario, la corriente eléctrica es nula (cero amperios) y el voltaje resultante es una característica intrínseca del material utilizado en la construcción de la célula del panel.

##### *1.4.7.2.2 Voltaje nominal ( $V_n$ )*

Es el valor de rendimiento al que el módulo fotovoltaico está diseñado para operar de manera óptima.

##### *1.4.7.2.3 Voltaje máximo ( $V_{mp}$ )*

Se refiere al voltaje que alcanza la potencia máxima. Por lo general, este valor se encuentra aproximadamente al 80% del voltaje en circuito abierto.

##### *1.4.7.2.4 Potencia Máxima ( $P_M$ )*

Se trata del valor máximo de potencia que puede generar el panel solar y se calcula al multiplicar la corriente y el voltaje de salida.

##### *1.4.7.2.5 Corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ )*

Es la corriente máxima alcanzable en un panel solar. Se determina midiendo la corriente que fluye a través de los terminales del panel cuando se genera un cortocircuito, lo que significa que el voltaje de salida es nulo.

##### *1.4.7.2.6 Corriente máxima ( $I_{mp}$ )*

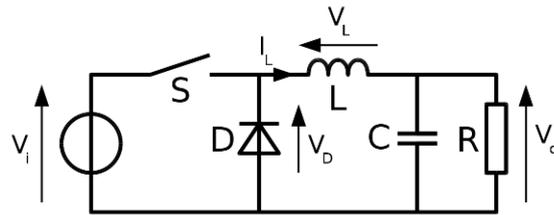
Se refiere a la corriente eléctrica que se logra alcanzar para obtener la máxima potencia.

#### **1.4.7.3 Convertidor DC-DC**

Son dispositivos que transforman una señal de corriente continua (DC) a otra señal regulada de mayor o menor valor de corriente continua (DC). Debido a su salida regulada los conversores DC-DC también son conocidos como reguladores de conmutación [28].

#### 1.4.7.3.1 Convertidor DC-DC Reductor

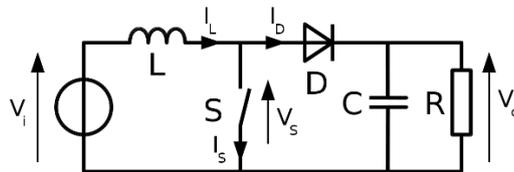
Permiten obtener en la salida una tensión menor a la señal de tensión de entrada, se conocen como convertidores Buck [28].



**Figura 1.17.** Circuito conversor DC-DC Reductor [28]

#### 1.4.7.3.2 Convertidor DC-DC Elevador

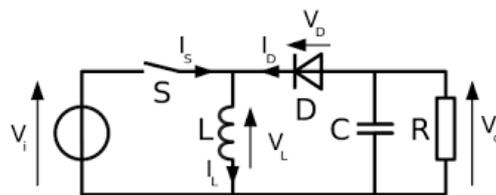
Permiten obtener en la salida una tensión mayor a la señal de tensión de entrada, se conocen como convertidores boost [28].



**Figura 1.18.** Circuito conversor DC-DC Elevador [28]

#### 1.4.7.3.3 Convertidor DC-DC Reductor - Elevador

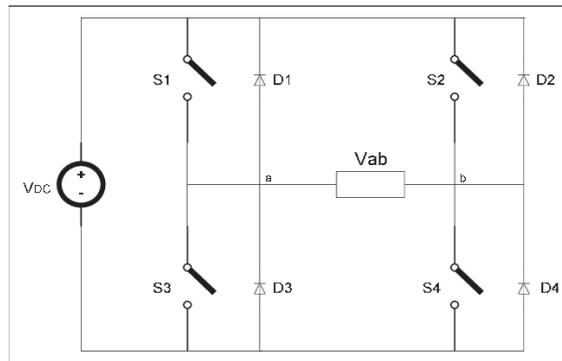
Permiten obtener en la salida una tensión mayor o menor a la señal de tensión de entrada, se conocen como convertidores buck-boost, flyback y cuk [28].



**Figura 1.19.** Circuito conversor DC-DC Reductor-Elevador [28]

#### 1.4.7.4 Inversor DC – AC

Un inversor es un dispositivo que tiene la capacidad de convertir la energía de entrada de corriente continua en una corriente alterna, pudiendo ser senoidal, triangular o cuadrada. [29]



**Figura 1.20.** Representación gráfica del inversor en configuración de puente completo. [30]

Su principio de funcionamiento se basa en que inversor se encarga de supervisar varios circuitos electrónicos para lograr un cambio periódico en la dirección del flujo de corriente continua, transformándola en un voltaje alterno adecuado para su uso cotidiano.[31]

#### 1.4.7.4.1 Inversor Simple Analógico

Consta de un inductor y de un interruptor, el cual es utilizado para detener la circulación de corriente y colapsar el campo magnético creando una onda de pulso inversa. Esta onda de pulso varía en el tiempo y puede generar una corriente eléctrica. [32]

#### 1.4.7.4.2 Inversor Simple Digital

Consta de un oscilador el cual es utilizado para activar o desactivar el paso de corriente mediante un transistor para crear una onda rectangular la cual atraviesa un transformador para suavizar su forma y aparentar ser un poco más sinusoidal. [32]

### 1.4.7.5 Batería

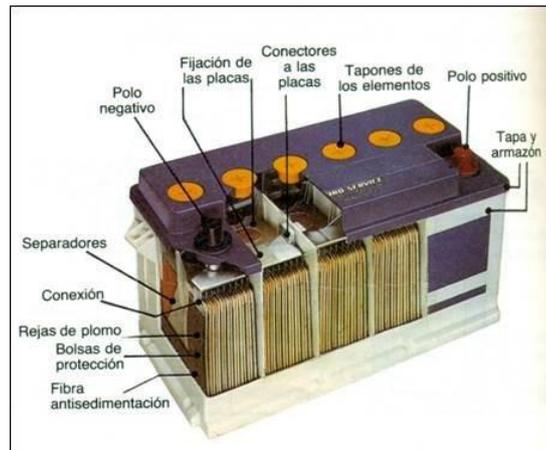
Uno de los principales problemas de la energía eléctrica, es la dificultad para su almacenamiento. Las baterías convierten la energía eléctrica, en energía química y viceversa. De esta manera podemos disponer de energía eléctrica cuando deseemos sin depender de la red [33].

#### 1.4.7.5.1 Tipos de baterías

Las baterías son dispositivos que funcionan mediante procesos electroquímicos para almacenar energía química y convertirla en energía eléctrica cuando se requiere. Hay diferentes tipos de baterías, cada una con características y usos particulares. A continuación, se describe las más utilizadas:

#### 1.4.7.5.2 Baterías de plomo ácido

Las baterías de Plomo-ácido son una forma de batería primaria que se basa en la teoría de celdas de Leclanché. Aunque esta tecnología tiene más de 130 años, sigue siendo la forma más antigua de almacenamiento de energía electroquímica recargable y se utiliza ampliamente en sistemas de respaldo de pequeña escala [34].



**Figura 1.21.** Partes de una batería de Plomo ácido [35]

#### 1.4.7.5.3 Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd)

Las baterías de Ni-Cd tienen una larga duración, con más de 3500 ciclos combinados y bajo mantenimiento requerido. Sin embargo, su vida útil está principalmente determinada por los niveles de descarga en cada ciclo, pudiendo alcanzar hasta 50.000 ciclos con una descarga del 10% [34].



**Figura 1.22.** Batería de Ni CD con un voltaje de 1.2V de la marca GP [36]

#### 1.4.7.5.4 Baterías de sulfuro de sodio

Esta tecnología suele operar a altas temperaturas debido a las reacciones exotérmicas involucradas. Como resultado, existen cambios de presión y riesgos potenciales de explosión o incendio. Sin embargo, estos desafíos no han frenado el desarrollo de esta tecnología. Con un cuidadoso control de la temperatura, los riesgos pueden mantenerse al mínimo y las pérdidas por autodescarga se mantienen bajas.

La eficiencia de esta tecnología se sitúa en un rango elevado, que va desde el 75% hasta el 100%, y presenta una autodescarga baja (0.01% al mes). Su vida útil se estima en alrededor de 3000 ciclos, con la posibilidad de alcanzar entre 10 y 15 años de funcionamiento [34].



**Figura 1.23.** Baterías de azufre de sodio de la marca Duracell [37]

#### 1.4.7.5.5 Baterías de litio

Desde que fueron introducidas al mercado a gran escala por Sony a principios de los años 90, las baterías de litio han experimentado un notable avance en términos de peso, capacidad de almacenamiento y potencia. En la actualidad, estas baterías son ampliamente utilizadas en teléfonos móviles y dispositivos electrónicos portátiles.

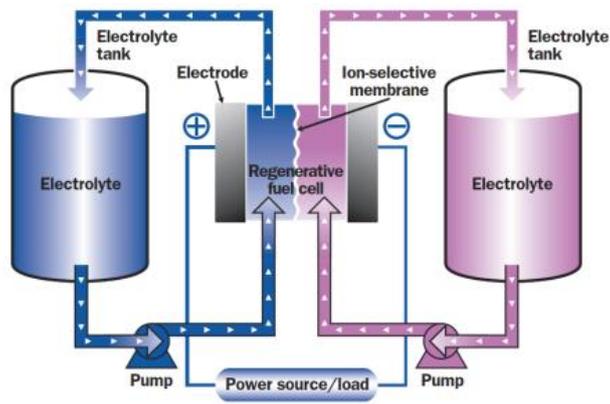
Uno de los aspectos destacados de las baterías de litio es su alta densidad de energía, que oscila entre 75 y 125 Wh/kg. Otra característica importante es su capacidad de carga y descarga rápida, pudiendo alcanzar el 90% de su potencia nominal en tan solo 200 ms. Son eficientes, alrededor del 78%, y pueden soportar más de 3500 ciclos de carga y descarga [34].



**Figura 1.24.** Batería de Litio de la marca Samsung de 5000 mAh [38]

#### 1.4.7.5.6 Baterías de Flujo – Redox

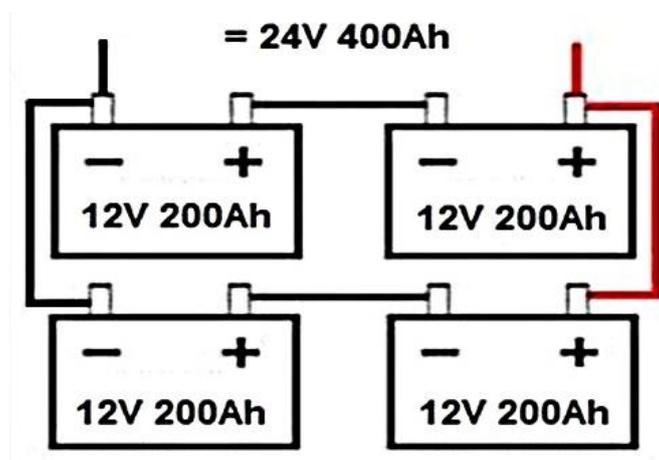
En una batería de flujo-redox, la energía se almacena químicamente en un electrolito líquido que contiene materiales electroactivos disueltos. Estos electrolitos se almacenan en tanques externos y, mediante el bombeo a través de circuitos separados hacia las celdas, uno experimenta una oxidación mientras que el otro sufre una reducción. Esto convierte la energía química en energía eléctrica. Los electrolitos se mantienen separados y no se mezclan, ya que en la celda se encuentra una membrana de carbono que permite el flujo selectivo de iones a través de ella [34].



**Figura 1.25.** Ciclo de carga y descarga de una batería de flujo Redox [34]

#### 1.4.7.5.7 Tipos de conexiones

Existen dos formas principales de conectar múltiples baterías simultáneamente. Una opción es conectar las baterías en serie, lo que duplicará el voltaje y mantendrá los amperios hora. La otra opción es conectarlas en paralelo, lo que duplicará los Amperios Hora y mantendrá el mismo voltaje. La elección de qué método de conexión utilizar dependerá del voltaje requerido, el tipo de baterías utilizadas y la capacidad de amperios-hora necesaria. En algunos casos, puede ser necesario utilizar ambos métodos de conexión [39].



**Figura 1.26.** Pack de baterías conectadas en Serie-Paralelo [40]

#### 1.4.7.5.8 Cálculo del banco de baterías

El dimensionamiento del conjunto de baterías se determina teniendo en cuenta diversos factores, como la carga eléctrica necesaria, la duración del respaldo deseado, la eficiencia del sistema, entre otros aspectos.

#### 1.4.7.5.9 Determinar el consumo de energía

El consumo se puede determinar multiplicando la corriente consumida con la cantidad de horas que se desea que funcione, esto se puede determinar con la siguiente fórmula: [41]

$$[41] \quad C = x * T \quad (1.6)$$

Donde:

C = Consumo en Amperios Hora (Ah)

x = Es la corriente que consume el elemento está en amperios (A)

T = es el tiempo que deseamos que este en funcionamiento, esto en Horas (h)

#### 1.4.7.5.10 Ciclo de vida de una batería

Un aspecto crucial al calcular la capacidad de las baterías es considerar su ciclo de vida. Es importante tener en cuenta que no es recomendable descargar completamente la batería en cada ciclo de carga. Esto aumenta la cantidad de ciclos disponibles y ayuda a reducir el deterioro de la batería, permitiéndole mantener su capacidad de carga durante un período más prolongado. Aproximadamente se recomienda dejar entre un 10% al 20% [42].

$$[42] \quad C_v = \frac{C}{DoD} \quad (1.7)$$

Donde:

Cv = Nueva capacidad de la batería mejorando vida util

DoD = Profundidad de descarga (Varia entre tipos de baterías )

C = Consumo de amperios hora (Ah)

#### 1.4.7.5.11 Consideraciones de Descarga

Algunos tipos de baterías tienen una menor capacidad en amperios-hora (Ah) cuando se descargan rápidamente. Este efecto es más pronunciado en baterías alcalinas, de carbón y zinc, zinc-aire y de plomo-ácido. En cambio, tiene un impacto menor en baterías de níquel-cadmio (NiCad), de iones de litio, polímero de litio y níquel-metal hidruro (NiMH) [43].

En el caso de las baterías de plomo-ácido, la capacidad nominal (es decir, el número de Amperios hora indicado en la batería) suele basarse en una tasa de descarga de 20 horas. Si se descargan a una velocidad lenta, se obtendrá la capacidad nominal de amperios-hora esperada. Sin embargo, a velocidades de descarga elevadas, la capacidad disminuye considerablemente [44].

$$[44] \quad C_d = \frac{C_v}{F_d} \quad (1.8)$$

Donde:

Cd =Capacidad nueva de la batería con consideración de descarga (Ah)

$C_v$  = Nueva capacidad de la batería mejorando vida útil (Ah)

$F_d$  = factor de descarga (velocidad de descarga alta = 0.5, Velocidad de descarga lenta =1)

### **1.4.8 EFICIENCIA**

Se define como el cociente entre la potencia máxima de salida del panel solar y la potencia de la radiación solar incidente sobre el mismo. Este valor depende principalmente del material utilizado en las celdas fotovoltaicas [45].

#### **1.4.8.1 Material de fabricación**

El coeficiente de absorción se ve influenciado por el tipo de material utilizado en el semiconductor, así como por el acabado superficial y la presencia de un revestimiento antirreflejante [46].

#### **1.4.8.2 Reflexión**

A medida que el ángulo de incidencia aumenta, se produce una reflexión de la luz en la capa externa del panel solar. Esta reflexión tiene un impacto significativo en la disminución de la eficiencia del panel, ya que se refleja una mayor intensidad de luz [47].

#### **1.4.8.3 Temperatura del panel fotovoltaico**

Los paneles fotovoltaicos utilizan semiconductores que son altamente sensibles a la temperatura. Cuando se exponen a temperaturas elevadas, experimentan una disminución en el voltaje de salida, lo que afecta negativamente su eficiencia [47].

Todos los factores antes mencionados pueden mejorar o perjudicar la eficiencia del panel fotovoltaico por lo cual es necesario tomarlos siempre a consideración en un diseño.

### **1.4.9 SEGUIMIENTO SOLAR**

Para aprovechar la mayor cantidad de irradiación que proporciona el sol, se moverá el panel conforme avanza, es decir desde el amanecer hasta el atardecer. Existen varias formas y maneras entre las principales tenemos:

#### **1.4.9.1 Dos ejes**

Los seguidores solares de dos ejes están diseñados para seguir el movimiento del sol en dos de los siguientes ángulos: azimutal, horizontal o polar [48].

#### **1.4.9.2 Eje polar**

Este tipo de seguidor realiza el seguimiento del sol de manera oblicua con su eje de rotación orientado hacia el sur y en una inclinación fija [49].

### 1.4.9.3 Azimutal

Este tipo de seguidor gira alrededor de un eje vertical y su ángulo se ajusta según la latitud de la instalación [48].

### 1.4.9.4 Horizontal

El seguidor solar horizontal es el más común y sigue el movimiento del sol a lo largo del día, de este a oeste [49].

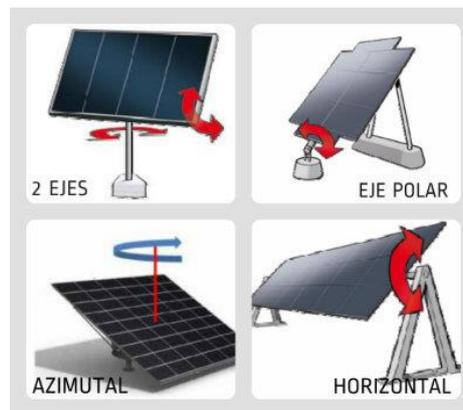


Figura 1.27. Formas de hacer seguimiento solar.

### 1.4.10 CONDUCTORES

La capacidad de corriente que el conductor debe manejar es el factor principal que determina la elección del calibre del conductor [50].

Esto se puede determinar mediante la siguiente formula:

$$[50] \quad I = \frac{P}{V * 0.9} \quad (1.9)$$

$$[50] \quad I_R = \frac{1.25 * I}{Fa * Ft} \quad (1.10)$$

Donde:

I = Corriente en Amperios (A)

V = Voltaje

0.9 = El factor de potencia, generalmente alrededor del 90%, es determinado por la combinación de cargas resistivas e inductivas presentes en el sistema eléctrico

I<sub>R</sub> = Corriente para seleccionar conductor (A)

1.25 = Es un parámetro importante para evitar la saturación excesiva del conductor

Fa = Factor de Agrupamiento o de ajuste (solo si hay más de 3 conductores)

Ft = Factor de temperatura o de corrección (Solo si la temperatura ambiente es mayor)

Las tablas para realizar los cálculos se encuentran en el ANEXO I con las cuales se puede determinar el calibre correcto para un conductor eléctrico

#### **1.4.11 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA**

Los dispositivos de maniobra nos permiten controlar circuitos eléctricos según nuestras necesidades, ya sea activando o desactivando su funcionamiento mientras que los elementos de protección cumplen funciones de protección y control, garantizando la seguridad eléctrica.

##### **1.4.11.1 Elementos de Protección de circuitos electrónicos**

La protección eléctrica comprende un conjunto de dispositivos que previenen o disminuyen los fallos y riesgos que surgen cuando hay algún problema en el funcionamiento de un sistema eléctrico. Estos dispositivos están diseñados para interrumpir la energía y evitar que los errores se propaguen en situaciones anormales.

Así, la protección eléctrica garantiza la seguridad de las personas y los equipos frente a posibles fallos, minimiza el impacto de los errores, supervisa, detecta, analiza y soluciona los fallos [51].

Entre los principales tenemos:

###### *1.4.11.1.1 Fusibles*

Estos dispositivos han sido diseñados con el propósito de permitir el flujo de corriente, siempre y cuando no exceda un valor predeterminado. En caso de que la corriente supere este valor, el fusible se fundirá, interrumpiendo el circuito y deteniendo el flujo de electricidad. De lo contrario, podría ocurrir un cortocircuito que potencialmente desencadenaría un incendio.

Es importante tener en cuenta que los fusibles deben ser capaces de soportar una corriente ligeramente superior a la establecida, debido a que algunos equipos eléctricos experimentan picos de corriente de manera frecuente [52].



**Figura 1.28.** Fusible de 5x20 mm a 2.5 A [53]

#### 1.4.11.1.2 Relé termomagnético

El relé termomagnético es un dispositivo automático de interruptor utilizado para salvaguardar los circuitos eléctricos de situaciones de sobrecarga o calentamiento excesivo. Su principal componente es un disparador magnético compuesto por una bobina, cuya función es proteger la instalación eléctrica en caso de producirse un cortocircuito [54].



**Figura 1.29.** Relay termomagnético de la marca CHNT

#### 1.4.11.1.3 Aislamiento de cables

El cobre, actúa como conductor eléctrico en los cables el cual no se encuentra expuesto, sino que está resguardado por un revestimiento aislante que nos permite manipular y tocar el cable sin riesgo de sufrir una descarga eléctrica. Aunque comúnmente se utiliza material aislante de plástico, también existen cables recubiertos de goma [55].



**Figura 1.30.** Recubrimiento de un cable eléctrico de cobre powerflex rv-k [56]

### 1.4.11.2 Elementos de maniobra

Los elementos de maniobra tienen la capacidad de controlar la instalación sin requerir cambios en las conexiones del circuito, lo que brinda la posibilidad de manejarla según se desee.

Entre los principales tenemos:

#### 1.4.11.2.1 Pulsadores

Los pulsadores son dispositivos eléctricos utilizados para abrir y cerrar un circuito. Tienen una posición estable o de reposo y otra de accionamiento [57].



**Figura 1.31.** Pulsadores para circuitos integrados PCB [58]

#### 1.4.11.2.2 Interruptores

Los interruptores cumplen la misma función que los pulsadores, pero tienen dos posiciones estables. (ON / OFF) [57].



**Figura 1.32.** Interruptor simple [59]

#### 1.4.11.2.3 Conmutadores

Los conmutadores son dispositivos similares a los interruptores, pero cuentan con un terminal de entrada común y dos terminales de salida [57].



**Figura 1.33.** Conmutador ON-OFF-(ON) [60]

### 1.4.12 MEDIDORES DE ENERGÍA

Los medidores de energía son unos dispositivos que nos permite medir la cantidad de una magnitud o variable específica [61].

Existen varios tipos de medidores, pero los principales son:

#### 1.4.12.1 Voltímetros

El voltímetro es un dispositivo de medición utilizado para determinar el voltaje o también llamada diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. El voltaje representa

la energía o el trabajo requerido para mover una unidad de carga entre esos dos puntos del circuito. Se conecta en paralelo al punto de medición [62].



**Figura 1.34.** Voltímetro digital DCB-72 [63]

#### 1.4.12.2 Amperímetro

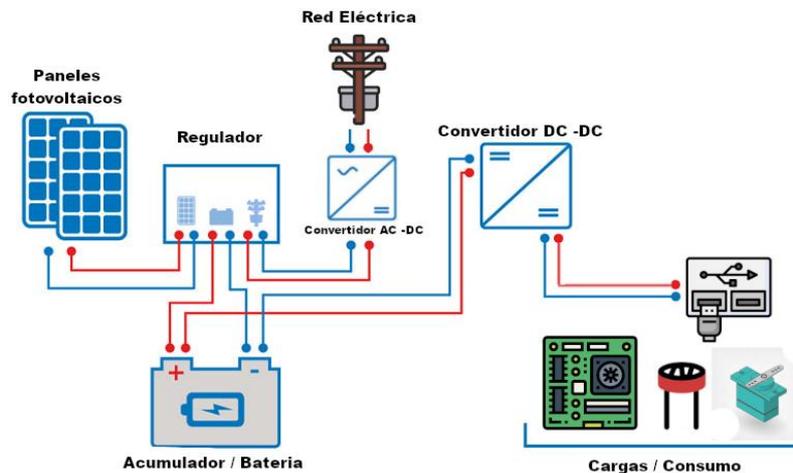
Es instrumento de medición que se utiliza para medir la intensidad de corriente eléctrica en un circuito. La corriente eléctrica es la cantidad de carga que fluye a través de una sección de un conductor eléctrico, y se expresa en amperios. Se conecta en serie, lo que significa que los componentes se conectan uno tras otro en el circuito, de modo que la corriente fluye a través de ellos de manera continua y en el mismo camino [64].



**Figura 1.35.** Amperímetro digital DHC-96 [65]

## 2 METODOLOGÍA

En este capítulo y acorde al capítulo 1 se describe en detalle el proceso de cálculo de cada uno de los equipos necesarios para el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta tanto los aspectos eléctricos para garantizar un rendimiento óptimo y satisfacer la demanda requerida.



**Figura 2.1.** Esquema General del sistema de energía híbrido

En el esquema general, se pueden apreciar los elementos esenciales necesarios para poner en funcionamiento un sistema de energía híbrida. Este sistema puede recibir alimentación tanto de un panel solar como de la red eléctrica convencional.

### 2.1 EXIGENCIAS DEL SISTEMA DE ENERGÍA EN MINIATURA

Las exigencias de este sistema de energía en miniatura es la base para poder diseñar y seleccionar todos los componentes, todo esto se lo realiza en base a requerimientos los cuales se detalla en la siguiente tabla a continuación

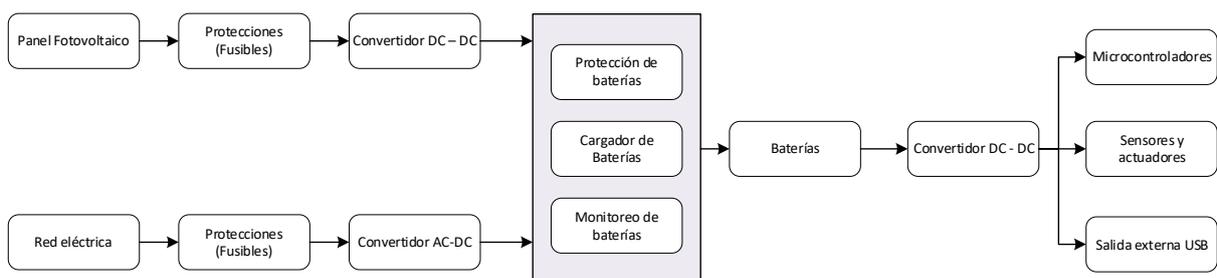
**Tabla 2.1.** Requerimientos del sistema de energía

Necesidad	Solución
Garantizar los niveles de voltaje adecuados para todos los sistemas internos y externos del sistema de energía.	Se emplearán reguladores o convertidores DC-DC para asegurar una salida estable de voltaje tanto en la carga de la batería como en la alimentación de los sistemas internos y externos.
Hacer que el sistema sea portátil, permitiendo su funcionamiento independiente de una conexión constante a la red eléctrica.	Se seleccionará una batería capaz de proporcionar el nivel adecuado de voltaje y corriente para el funcionamiento integral del sistema de energía.

Asegurar el funcionamiento ininterrumpido del sistema durante las 24 horas del día.	Se utilizará una batería recargable que aprovechará las celdas fotovoltaicas para recargarse durante el día, permitiendo el funcionamiento continuo durante las 24 horas.
Se deberá poder visualizar el voltaje y la corriente utilizada de forma sencilla y sin elementos extras	Se implementarán módulos de multímetros con pantalla para proporcionar una interfaz visual al usuario y facilitar el monitoreo del sistema de energía.
Implementar un sistema para evitar hurtos del sistema de energía	Se integrará una cámara con un sensor para capturar imágenes en caso de detectar comportamientos sospechosos, posibilitando la posterior presentación de denuncias.
El sistema de paneles debe poder realizar seguimiento solar	Mediante el uso de un servomotor y sensores de luz LDR, se generará un código que permitirá al sistema realizar un seguimiento solar con precisión.

## 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE ENERGÍA

En base a la tabla anterior se plantea el diagrama de bloques que se puede observar en la figura 2.2, en este constan las partes principales que forman parte del sistema de energía.



**Figura 2.2.** Diagrama de bloques general del sistema de energía a desarrollar

El diagrama de bloque comienza con el panel fotovoltaico, el cual genera electricidad a partir de la luz solar a través de sus celdas. Para prevenir cortocircuitos o mal funcionamiento, se emplea un fusible. La electricidad posteriormente pasa por un convertidor DC-DC, que mantiene un voltaje constante para cargar las baterías mediante un módulo cargador. Este módulo está equipado con las protecciones necesarias para evitar daños a la batería. A continuación, la energía se dirige a la batería, que se encargará de suministrar la energía necesaria a las cargas.

Sin embargo, antes de llegar a las cargas, la energía debe pasar por otro convertidor DC-DC, con el fin de ajustar el voltaje de manera adecuada para los sensores, actuadores, microcontroladores y salidas USB externas.

Si la energía proviene de la red eléctrica, también debe pasar a través de los fusibles para prevenir cortocircuitos y proteger al sistema. Luego, se dirige a un convertidor AC-DC que reduce el voltaje y lo convierte en corriente continua para cargar la batería. Una vez que la energía llega a la batería, sigue el mismo camino mencionado anteriormente.

## 2.3 DISEÑO DEL HARDWARE

Para iniciar el diseño del hardware, es fundamental conocer el consumo de energía de cada componente, ya que nuestra principal fuente de energía será la batería por esta razón es crucial dimensionar correctamente la batería para asegurar que cumpla con los requisitos necesarios para el funcionamiento del sistema en su totalidad.

La información sobre el consumo de energía de cada elemento se puede obtener de los datasheets correspondientes, los cuales se adjuntarán en los anexos del presente documento. Dado que el consumo puede variar y los distintos elementos no siempre funcionan durante todas las horas, se ha elaborado una tabla que muestra las corrientes requeridas y las estimaciones de horas de funcionamiento aproximadas para cada componente.

**Tabla 2.2.** Consumo de energía de los elementos principales

Equipos	Corriente (mA)	Potencia (W)	Horas en funcionamiento (h)	Consumo de energía (Wh)
Sensores LDR x3	60	0.3	24	7.2
Arduino Nano	15	0.075	24	1.8
Raspberry pi 3B	400	2	3	6
Servomotor	150	0.75	8	6
Medidores de energía	10	0.05	24	1.2
Modulo Relay	270	1.35	3	4.05
Cámara	250	0.825	1	0.825
Sensor PIR	1	0.005	24	0.12
USB para alimentación externa	700	3.5	8	28

En la tabla 2.2 se observa que no todos los componentes operan las 24 horas continuamente. Esto se debe a que algunos de ellos solo funcionan bajo ciertas condiciones específicas. Por lo tanto, se ha estimado su tiempo aproximado de funcionamiento. Esta estimación se realiza con el objetivo de optimizar la utilización del recurso energético disponible, evitando un sobredimensionamiento excesivo de la capacidad de la batería, lo cual resultaría en costos innecesarios.

### 2.3.1 BATERÍA

De acuerdo con la tabla anterior, podemos calcular la capacidad de la batería en mAh. Esto nos ayudará a determinar la cantidad de energía necesaria que la batería debe proporcionar para poner en funcionamiento todo el sistema de energía.

$$c = (86 \text{ mA} * 24 \text{ h}) + (700 \text{ mA} * 8 \text{ h}) + (150 \text{ mA} * 8 \text{ h}) + (670 \text{ mA} * 3 \text{ h}) + (250 \text{ mA} * 1 \text{ h})$$

$$c = 11124 \text{ mAh}$$

Un aspecto crucial a tener en cuenta es que las baterías tienen un ciclo de vida y no es recomendable descargarlas completamente en cada ciclo de carga. Para preservar la vida útil de la batería y mantener su capacidad de carga, se recomienda dejar aproximadamente un 10% de carga restante al final de cada ciclo. De esta manera, se evita la degradación prematura de la batería.

$$C = c/0.9 \tag{2.1}$$

$$C = 11124 \text{ mAh}/0.9$$

$$C = 12360 \text{ mAh} \approx 12000 \text{ mAh}$$

La capacidad de la batería necesaria para suministrar energía al sistema durante 24 horas sería de 12000 mAh. No obstante, este valor puede verse afectado debido a que la batería se cargará mediante un panel solar desde las 7:30 de la mañana hasta las 6 de la tarde.

En un escenario ideal, solo se consumiría energía de la batería durante trece horas y media, mientras que las diez horas y media restantes se obtendrían del panel solar. Sin embargo, se asume que las 24 horas dependen de la batería debido a la posibilidad de días nublados o lluviosos en los cuales los paneles solares no podrían proporcionar la carga necesaria para el funcionamiento del sistema.

Con base en los datos anteriores, se determina que la capacidad mínima de la batería debe ser de 12000 mAh, y es importante que sea recargable y portátil. Teniendo en cuenta estos requisitos, se realizó una búsqueda en el mercado actual y se seleccionó la batería de Li-po

T188, la cual cumple con todas las características eléctricas necesarias. Además, su tamaño reducido facilita su instalación y transporte.

A continuación, se mencionan algunas de sus características destacadas:



**Figura 2.3.** Batería de 2 celdas Li-po T188 [66]

Las principales características de esta batería son:

- Tamaño: 18650 (68 x 36 x 36 )mm
- Capacidad nominal del fabricante: 12800 mAh
- Corriente de funcionamiento estándar: 2,85 A.
- Voltaje Nominal: 7.4V
- Protegido: No
- Estilo: Parte superior plana
- Color azul
- Origen: China

### 2.3.2 SUMINISTRO DE ENERGÍA

De acuerdo con la tabla de consumo de energía de los elementos principales, se estima que el sistema completo consumirá aproximadamente 1856 mA de corriente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este consumo máximo ocurre cuando todos los componentes del sistema están funcionando simultáneamente lo cual es poco probable.

De las cargas presentes en el sistema, únicamente las que funcionan las 24 horas suman un total de 86 mA. Por otro lado, las cargas principales que incluyen la corriente de los USB externos, el microcontrolador Raspberry y el servomotor, suman aproximadamente 1770 mA. Aunque estas cargas son más intensas, no operan de manera continua.

Con estos datos, se concluye que la capacidad de carga de la batería debe ser mayor al consumo total del sistema para permitir la carga efectiva de la batería durante su funcionamiento.

$$I_{carg} = I_{Bat} + I_{con} \quad (2.2)$$

Donde:

$I_{\text{carg}}$  = Corriente de carga

$I_{\text{Bat}}$  = Corriente de la batería

$I_{\text{Con}}$  = Corriente de consumo

Considerando que la corriente de consumo es aproximadamente de 1856 mA, es necesario que la corriente de carga sea superior para permitir que, mientras alimenta el circuito, la corriente restante recargue la batería.

Dado que se trata de un sistema de energía híbrido, esta corriente de carga puede provenir tanto del panel solar como de la red eléctrica.

### 2.3.2.1 Suministro de energía por red eléctrica

Las baterías requieren corriente continua, por lo que se utiliza un convertidor AC-DC para transformar la corriente alterna en corriente continua. Afortunadamente, en el mercado existen numerosos cargadores comerciales que incluyen este tipo de convertidor, por lo que solo es necesario seleccionar el adecuado.

Para cargar la batería, se necesita un voltaje de 8.4V y una corriente mínima de 1856 mA. Una opción comercial apropiada sería seleccionar un cargador con una corriente de salida de 3000 mA, que cubriría el requerimiento de corriente y proporcionaría un margen adicional. Se presenta las características principales a continuación.



**Figura 2.4.** Cargador Li-ION 8.4V – 3 A [67]

#### Especificaciones

- Voltaje de entrada: AC100V-240V
- Voltaje de salida: DC 8.4V
- Corriente de salida: 3A
- Tamaño del adaptador de salida del conector: 5.5mm x 2.5-2.1mm compatible

- Material de la carcasa: Plástico
- Longitud del cable: 90cm
- Cumplimiento de seguridad: FCC/CE/RoHs/CCC
- Protección incorporada contra sobre voltaje, sobre corriente y cortocircuitos
- Temperatura de trabajo: 0 ~ 40°C
- Temperatura de almacenamiento: -20 ~ 60°C
- Humedad ambiental: 0 ~ 95% sin condensación

### 2.3.2.2 Suministro de energía Solar

En el mercado, existen módulos disponibles en los cuales las celdas solares ya están unidas y proporcionan valores estándar. Sin embargo, para determinar el módulo fotovoltaico más adecuado, es necesario conocer la corriente de consumo del sistema.

Dado que anteriormente se calculó que la corriente de consumo es de 1856 mA, el módulo fotovoltaico debe ser capaz de proporcionar una corriente mayor a esta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en los módulos fotovoltaicos existen diversas variables que pueden afectar su funcionamiento. Por lo tanto, el primer paso es calcular el Punto de Máxima Potencia (HSP, por sus siglas en inglés) del lugar donde se instalará el sistema. En el capítulo anterior se cuentan con datos de la irradiación promedio en la zona oriente. Utilizando la fórmula 1.1, se puede realizar este cálculo.

$$HSP = \frac{4.5 \left[ \frac{kW}{m^2/dia} \right]}{1 kW/m^2}$$

$$HSP = 4.5 \text{ Hora solar pico}$$

Conociendo el valor de HSP podemos utilizar la fórmula 1.2 para determinar la potencia que este nos puede proporcionar con la irradiación que se tiene en el lugar de instalación.

Con la fórmula de HSP se puede determinar la potencia que debería llegar a generar un panel aproximadamente con la formula siguiente:[8]

$$P_{gr} = \frac{82.7925 \text{ Wh} - dia}{4.5 * 0.9}$$

$$P_{gr} = 20.44 \text{ W}$$

Con base en este cálculo, se determina que un módulo fotovoltaico debería mínimo generar aproximadamente 20.44 W de potencia. Por lo tanto, se puede optar por un módulo de 30 W, el cual sería adecuado para la irradiación disponible en la zona.

En el mercado existen varios modelos de módulos fotovoltaicos con diferentes tamaños y potencias, Sin embargo, al seleccionar uno es importante asegurarse de que cumpla con las características eléctricas mínimas requeridas. Además, se recomienda elegir un módulo lo más pequeño posible para que el sistema no sea demasiado grande y pueda ser fácilmente transportable.

En el mercado se encontró un módulo fotovoltaico de 30W monocristalino el cual se detalla sus características a continuación



**Figura 2.5.** Panel solar monocristalino Fotovoltaico de 30W [68]

**Especificación:[68]**

- Potencia del panel solar: 30W
- Célula solar: silicio monocristalino
- Voltaje de funcionamiento del panel solar: 17.80V
- Voltaje de circuito abierto del panel solar: 22.30 V
- Corriente de cortocircuito del panel solar: 2.30A (máx.)
- Corriente de nominal del panel solar: 1.94 A
- Puerto de salida: USB dual, DC5521 hembra
- Tamaño del panel solar: 280\*280\*3mm

Teniendo en cuenta que el panel fotovoltaico estará ubicado en el oriente ecuatoriano y que previamente se calcularon las horas de sol pico, podemos aplicar la ecuación 1.3 para determinar la potencia en vatios-hora (Wh) que el panel puede generar, este cálculo nos permitirá evaluar si cumple con los requisitos necesarios para el sistema.

$$E_{pt} = 30 W * 4.5 \left( \frac{22.30}{17.80} \right)$$

$$E_{pt} = 169.12 Wh$$

Tomando en cuenta la tabla de consumo de energía de los componentes principales se sabe que el sistema en su totalidad requerirá 40 Wh de energía, por otro lado, el panel fotovoltaico seleccionado tiene la capacidad de generar 169.12 Wh de energía, por lo tanto el panel elegido cumple con los requisitos de demanda necesarios y el exceso de energía generada se utilizará para cargar la batería.

### 2.3.3 PROTECCIONES

Las protecciones son elementos fundamentales dentro del sistema de energía, ya que su función principal es prevenir que cualquier mal funcionamiento eléctrico cause daños significativos en los demás componentes. Aunque los módulos ya cuenten con protecciones incorporadas contra sobrevoltaje y cortocircuito, es necesario tomar medidas adicionales para evitar daños, por esta razón se utilizarán fusibles en el sistema, los cuales ofrecen la ventaja de ser fáciles de reemplazar y permiten detectar visualmente si se ha producido un cortocircuito, ya que los fusibles se activarán en ese caso.

Para seleccionar adecuadamente los fusibles, es crucial conocer la corriente que circulará por ellos en condiciones normales. Con el objetivo de proteger todos los elementos del sistema de energía, se colocarán dos fusibles: uno en la entrada de energía del módulo fotovoltaico y otro en la entrada de energía suministrada por la red eléctrica, de esta manera se garantizará una protección efectiva en ambos flujos de energía.



**Figura 2.6.** Porta fusible y fusible [69].

#### 2.3.3.1 Protección entrada de energía por red eléctrica

Dado que se ha seleccionado un conversor AC - DC comercial que tiene una corriente máxima de salida de 3 Amperios según sus especificaciones de placa, se colocará un fusible de 4 Amperios, valor comercial disponible, con el propósito de proteger el sistema ante posibles cortocircuitos provenientes del conversor AC - DC. Esta medida asegurará una adecuada protección del sistema y permitirá un funcionamiento seguro y confiable.

#### 2.3.3.2 Protección entrada de energía por modulo fotovoltaico

De acuerdo con la placa del módulo fotovoltaico, se puede generar hasta 30 W de potencia y su voltaje de funcionamiento nominal es de 17.80 V. Utilizando la fórmula de potencia ( $P = V \times I$ ) [70], podemos determinar la corriente que puede generar el módulo. En este caso,

despejando la corriente (I), obtenemos que la corriente generada por el módulo fotovoltaico es de aproximadamente 1.68 Amperios.

$$W=V*I \quad (2.3)$$
$$I=\frac{W}{V}$$
$$I = \frac{30 \text{ W}}{17.80 \text{ V}}$$

$$I = 1.68 \text{ A}$$

Basándonos en el dato de corriente máxima que puede generar el módulo fotovoltaico, se recomienda seleccionar un fusible de 2 amperios para proteger la entrada del sistema proveniente del panel solar. Este valor garantiza que el sistema estará protegido ante posibles fallas que puedan ocurrir en el módulo fotovoltaico, asegurando su funcionamiento y evitando daños en los demás componentes.

### **2.3.4 REGULADORES DE VOLTAJE**

Los reguladores de voltaje desempeñan un papel fundamental en el diseño del sistema de energía, ya que muchos componentes no funcionan directamente con el voltaje de entrada o el de la batería. Por lo tanto, es necesario regular el voltaje de manera que se obtenga el valor nominal requerido para cada elemento.

En el caso del módulo fotovoltaico, su voltaje de salida es de 17.80V, pero es necesario regularlo a 8.4V para cargar la batería de forma adecuada. Además, aunque la batería puede suministrar un voltaje de 7.4V, es necesario regularlo debido a que los sensores, microcontroladores y salidas USB operan a 5V.

Existen 3 formas de obtener reguladores de voltaje.

#### **2.3.4.1 Diseñar y construir**

Diseñar y construir reguladores de voltaje utilizando componentes electrónicos individuales es una opción, pero no es la más eficiente en términos de pérdidas de energía. Esta metodología puede resultar contraproducente, ya que implica mayores demandas de energía y requiere baterías de mayor capacidad para compensar las pérdidas.

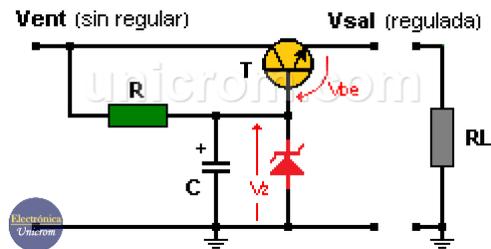


Figura 2.7. Regulador de voltaje con diodo Zener [71]

### 2.3.4.2 Integrados

Existen integrados comerciales, como el LM7805 y el LM7812, que pueden proporcionar un voltaje constante. Sin embargo, estos componentes presentan dos problemas importantes. En primer lugar, tienen una eficiencia limitada, ya que el voltaje excedente se disipa en forma de calor, lo que puede resultar en pérdidas significativas de energía. En segundo lugar, su capacidad máxima de corriente es de apenas 1 Amperio, lo cual puede ser insuficiente para alimentar ciertos dispositivos o componentes de alto consumo eléctrico.

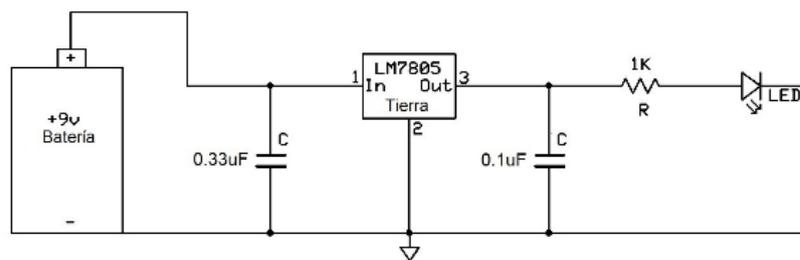
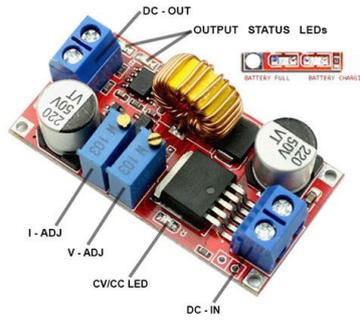


Figura 2.8. Regulador fijo con integrado LM7805 [72]

### 2.3.4.3 Módulos convertidores DC - DC

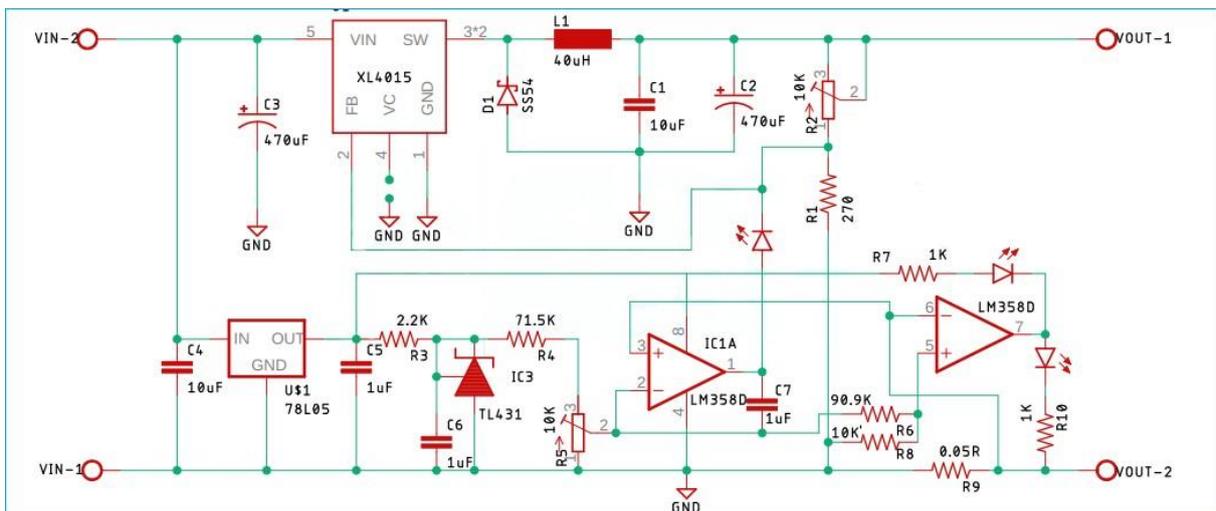
En el mercado, se encuentran disponibles módulos convertidores de corriente continua a corriente continua (DC-DC) que cuentan con dos potenciómetros de 10K. Estos se utilizan para establecer niveles constantes de corriente y voltaje. Además, en el tablero del módulo, hay tres indicadores LED. El primero, ubicado cerca del conector de entrada, indica cuando el módulo está en modo de corriente constante. Los otros dos, cerca de la salida, están principalmente destinados a aplicaciones de carga de batería, mostrando los estados de carga y batería completa. Además, este dispositivo cuenta con un rango de voltaje de entrada de 8 V a 36 V, y su voltaje de salida varía desde 1,25 V hasta 32 V. Con una carga máxima, el ciclo de trabajo del modulador por ancho de pulsos (PWM) puede alcanzar el 100%, y el dispositivo puede operar a una frecuencia de 180 kHz con una eficiencia superior al 96%. [66]



**Figura 2.9.** Convertidor de DC a DC con control de corriente constante (CC) y voltaje constante (CV) [66]

Analizando los 3 casos se puede deducir que la mejor opción para implementar en el sistema de energía es el módulo del convertidor DC -DC debido a que su tamaño es pequeño y compacto además de que cumple con todas las características eléctricas necesarias y su eficiencia es mayor a los anteriores casos vistos.

El circuito se representa en el diagrama mostrado en la figura 2.10, el cual incluye todos los componentes necesarios para el sistema.



**Figura 2.10.** Diagrama Eléctrico del módulo convertidor DC- DC [66]

### 2.3.5 SENSORES Y ACTUADORES

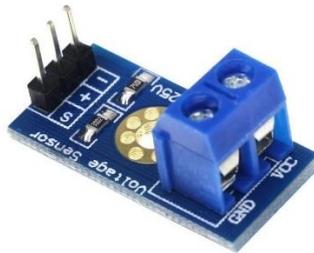
Los sensores y actuadores son elementos indispensables para el control y automatización del sistema de energía, ya que permiten recopilar información del entorno y actuar en consecuencia. A continuación, se describen los sensores y actuadores utilizados en el sistema:

#### 2.3.5.1 Sensores

Un sistema de control no puede funcionar adecuadamente sin los sensores los cuales deben ser implementados estratégicamente en circuito diseñado para ello se utilizó los siguientes elementos:

### 2.3.5.1.1 Sensor de voltaje

El sistema de energía está equipado con dos módulos de sensores de voltaje, ubicados estratégicamente en la batería y en la entrada de energía proveniente de la red eléctrica. El primer sensor de voltaje tiene como objetivo controlar el nivel de carga de la batería, evitando su descarga completa, lo cual puede resultar contraproducente. Por otro lado, el segundo sensor de voltaje activará un relé que permitirá cambiar entre los modos de carga: módulo fotovoltaico o red eléctrica.



**Figura 2.11.** Modulo sensor de voltaje SE054 [73]

Sus características principales son: [73]

- Rango de entrada de voltaje: 0v a 25v DC.
- Voltaje detección entrada máximo: 25v ( $5v \times 5 = 25v$ ) o 16,5v ( $3,3v \times 5 = 16,5v$ ).
- Rango de detección de voltaje: 24,41mV – 25v.
- Resolución analógica de tensión: 0,00489v DC.
- Voltaje detección entrada mínimo: 24,45mV ( $4,89mV \times 5 = 24,45mV$ ).

### 2.3.5.1.2 Modulo sensor de Luz (LDR)

Para detectar la posición del sol, se emplean módulos LDR en combinación con hardware adecuado. Estos módulos serán calibrados según tres niveles de iluminación necesarios para el funcionamiento del seguidor de luz. Se instalan junto al módulo solar para garantizar una detección precisa apuntando hacia el cielo.



**Figura 2.12.** Modulo sensor de luz con potenciómetro [74]

Características: [74]

- Sensor de resistencia fotosensible

- Salida del comparador, señal limpia, buena forma de onda, gran capacidad de conducción, más de 15 mA.
- Potenciómetro ajustable, puede ajustar el brillo de la detección de luz.
- El voltaje de funcionamiento es de 3,3 V-5 V.
- Forma de salida: salida de conmutación digital DO (0 y 1) y salida de voltaje analógico AO
- Con orificio de perno fijo, fácil de instalar.
- Tamaño pequeño: PCB de 3,2 cm x 1,4 cm
- Comparador LM393 de voltaje amplio

#### 2.3.5.1.3 Sensor de presencia (PIR)

Este sensor trabajará en conjunto con el sistema de vigilancia. Cuando detecte movimiento cerca del sistema de energía, activará una cámara que capturará una fotografía con el objetivo de identificar al intruso responsable del robo del equipo.



**Figura 2.13.** Sensor de movimiento PIR infrarojo HC-SR501 [75]

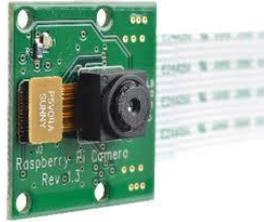
Características: [75]

- Voltaje de alimentación: 3 a 20V.
- Niveles de salida: alto-3,3V, bajo – 0V.
- Modos de disparo: L- no repite disparo, H- repite disparo
- Tiempo de disparo ajustable: desde 3s a 300s.
- Lente fresnel de 19 zonas, Ángulo <math><100^\circ</math>
- Tamaño del lente de sensor: diametro-23mm.
- Tamaño de tarjeta: 3,2 x 2,4 x 2,6 cm.

#### 2.3.5.1.4 Cámara

La cámara desempeña un papel crucial en la función de vigilancia del sistema, y es importante que sea compatible con Raspberry Pi, ya que se encargará de procesar todas las imágenes. Además, es deseable que la cámara sea compacta en tamaño, para que no ocupe demasiado espacio en la configuración del sistema. En términos de calidad de imagen, es recomendable que la cámara tenga una resolución adecuada para poder capturar detalles importantes, como

el rostro de una persona sospechosa, de manera clara y nítida. Esto ayudará a facilitar la identificación y el reconocimiento en caso de ser necesario.



**Figura 2.14.** Cámara Para Raspberry pi 3 [76]

Características [76] :

- Resolución: 1/4 5M.
- Apertura: 2.9.
- Longitud focal: 3.29.
- FOV: 65 grados.
- Tipo de sensor: OmniVision OV5647 Color CMOS QSXGA (5 megapíxeles)
- Tamaño del sensor: 3.67 x 2.74 mm (formato 1/4")
- Cantidad de píxeles: 2592 x 1944.
- Tamaño de píxel: 1.4 x 1.4 um.

## 2.3.5.2 Actuadores

### 2.3.5.2.1 Switch

Este dispositivo proporcionará la capacidad de encender y apagar el sistema de energía sin la necesidad de conectar o desconectar componentes individualmente. Esto simplifica el transporte y la instalación del sistema en su ubicación de funcionamiento.



**Figura 2.15.** Switch doble simple 110V 10 A [77]

### 2.3.5.2.2 Modulo Relé

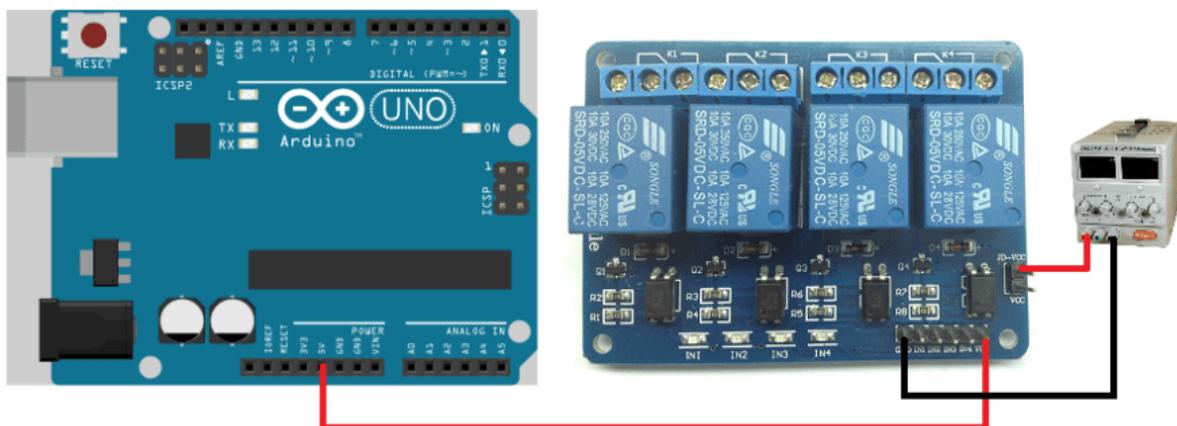
El módulo de relé es un componente que nos permite conmutar y direccionar la corriente según la activación o desactivación de los relés. Este elemento también cumple la función de aislar la carga de los microcontroladores, evitando que cualquier falla se propague a los pines de los

microcontroladores y los dañe. Esto es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema de energía.

Los relés desempeñan un papel clave en varias funciones de protección y control. Ayudan a evitar la sobrecarga de la batería, permiten la conmutación entre la carga proveniente del módulo solar y la red eléctrica, y evitan que el nivel de carga de la batería de litio se agote por completo, lo que puede ser perjudicial para su vida útil.

En resumen, el módulo de relé desempeña un papel crucial al garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema de energía, protegiendo los componentes y brindando la funcionalidad necesaria para gestionar la carga de la batería y la conmutación entre diferentes fuentes de energía.

Los microcontroladores no tienen la capacidad de suministrar la corriente necesaria para energizar los módulos mencionados, ya que los requisitos de corriente de accionamiento pueden ser bastante altos. Por lo tanto, es necesario proporcionar una fuente de alimentación externa para activar adecuadamente estos módulos. Sin embargo, los microcontroladores sí se encargan de enviar los comandos de activación o desactivación a través de sus pines, estableciendo así el control sobre los módulos. Esta separación entre la fuente de alimentación y los comandos del microcontrolador garantiza un funcionamiento seguro y eficiente del sistema, al tiempo que permite una mayor flexibilidad en el diseño y la gestión de la energía.



**Figura 2.16.** Diagrama de conexión del módulo relé con fuente externa [78]

Características eléctricas [79]:

- Voltaje de Operación: 5V DC.
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): 4 CH.
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC.

- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms.
- Para activar salida NO: 0 Voltios.

### 2.3.5.2.3 Servomotor

El movimiento del módulo fotovoltaico se logra gracias al uso de un servomotor, que posee la capacidad de posicionarse con precisión en ángulos específicos. Permite orientar el panel hacia la posición óptima para recibir la máxima radiación solar. Además, el servomotor tiene un tamaño compacto que se adapta de manera adecuada al sistema de seguimiento solar, sin ocupar un espacio excesivo. Con su capacidad de movimiento controlado y su tamaño adecuado, el servomotor se convierte en una opción ideal para la manipulación del módulo fotovoltaico del sistema.



**Figura 2.17.** Servomotor de engranaje metálico digital [80]

### **Características Mecánica [80]**

- Tamaño: 40,0x20,5x40,5mm
- Peso: 58g ± 2g
- Ángulo límite: 360 °
- Rodamiento: 2BB
- Bobina de Bocina: 25T diámetro: 5,9mm
- Carcasa: Plásticos de Ingeniería + aleación de aluminio
- Cable del conector: 320mm ± 5mm
- 8.Motor: motor de escobillas de carbón

### **Características eléctricas [81]**

- Rango de voltaje de funcionamiento: 4,8-6,8 V
- Señal de comando: modificación del ancho del pulso
- Tipo de amplificador: controlador Digital
- Rango de ancho de pulso: 500 ~ 2500 UMEC
- Posición Neutral: 1500 UMEC

- Grado de funcionamiento:  $180 \pm 3^\circ$  (PWM 500 ~ 2500 UMEC)
- $270 \pm 3^\circ$  (PWM500 ~ 2500 UMEC)
- Ancho de la correa muerta: 3 UMEC
- Dirección de rotación en sentido contrario a las agujas del reloj: (cuando 1000 ~ 2000 se usa)

### 2.3.6 CONDUCTORES

Los conductores eléctricos desempeñan un papel crucial en el transporte de energía de un punto a otro. Es esencial que estos conductores estén correctamente aislados y dimensionados de acuerdo con la corriente eléctrica que van a soportar. Esto se realiza con el objetivo de evitar caídas de voltaje y garantizar que los conductores no se calienten o fundan debido a un diseño inadecuado.

Para determinar el tamaño adecuado de los conductores, se utilizan las fórmulas 1.9 y 1.10 que fueron revisadas en el capítulo 1. Estas fórmulas permiten calcular la sección transversal necesaria de los conductores en función de la corriente eléctrica que van a transportar. Al dimensionar correctamente los conductores, se asegura una conducción eficiente de la energía eléctrica, minimizando las pérdidas y evitando problemas de sobrecalentamiento.

Es fundamental prestar atención al diseño y dimensionamiento de los conductores eléctricos, ya que esto garantiza un funcionamiento seguro y confiable del sistema de energía.

La potencia máxima que puede llegar a circular es de 30W a un voltaje de 8.4V que es en la parte de cargar la batería mientras que en la parte interna 10W a un voltaje de 5V por lo tanto la corriente tiene un valor de 2.64 Amperios.

Para la parte de la carga de la batería se obtiene el siguiente resultado:

recalcular

$$I = \frac{30 \text{ W}}{8.4 * 0.9}$$

$$I = 3.96 \text{ A}$$

$$I_R = \frac{1.25 * 3.96}{0.8}$$

$$I_R = 6.18 \text{ A}$$

Según la tabla del Anexo I el calibre que debe ir para la corriente de 6.18 A es de AWG 20

Para la parte de funcionamiento del sistema energético obtiene el siguiente resultado:

$$I = \frac{10 W}{5V * 0.9}$$

$$I = 2.22 A$$

$$I_R = \frac{1.25 * 2.2A}{0.8}$$

$$I_R = 3.46 A$$

Según la tabla del anexo 1 el calibre que debe ir para la corriente de 3.46 A es de AWG 22

### **2.3.7 MICROCONTROLADORES**

Los microcontroladores desempeñan un papel fundamental en el sistema energético, ya que son responsables de gestionar tanto la generación y distribución de energía como el sistema de vigilancia. Estos microcontroladores son seleccionados cuidadosamente en base a sus características de cálculo, entradas y salidas.

Los microcontroladores son considerados el "cerebro" del sistema, ya que ejecutan las instrucciones y algoritmos necesarios para el funcionamiento correcto y eficiente de todas las funciones del sistema energético. Con su capacidad de procesamiento y control, los microcontroladores permiten supervisar y regular el flujo de energía, controlar los dispositivos y sensores, y tomar decisiones en función de las condiciones y parámetros establecidos.

A continuación, se verá breves detalles de los microcontroladores utilizados:

#### **2.3.7.1 Arduino nano**

La tarjeta de desarrollo Arduino Nano ofrece 8 entradas analógicas y 21 salidas digitales, aunque es importante destacar que algunas de estas salidas comparten los mismos pines que las entradas analógicas. Por lo tanto, solo se pueden utilizar 12 pines exclusivamente para entradas digitales.

Dado que el Arduino Nano no cuenta con un alto poder de procesamiento para tareas relacionadas con imágenes, su enfoque principal será controlar el sistema de energía y el seguimiento solar.

**Tabla 2.3.** Distribución de pines para Arduino nano

<b>Elemento</b>	<b>PIN Asignado</b>	<b>Entrada / Salida</b>	<b>Analógico / Digital</b>	<b>Descripción</b>
Voltímetro 1	A2	Entrada	Analógico	Voltímetro que detecta carga por modulo fotovoltaico o red eléctrica
Voltímetro 2	A3	Entrada	Analógico	Voltímetro que detecta el nivel restante de la batería
Relay 1	D2	Salida	Digital	Relé que conmuta para seleccionar entre carga por modulo fotovoltaico o red eléctrica
Relay 2	D3	Salida	Digital	Relé que al tener la batería totalmente cargada desactiva la carga tanto por red eléctrica como por modulo fotovoltaico
Relay 3	D4	Salida	Digital	Relé que, ante un bajo nivel de energía en la batería, quita cargas innecesarias
Control Servomotor	D5	Salida	Digital	Manda un pulso PWM de diferente modulación para el control del servomotor
Sensor de Luz 1	D6	Entrada	Digital	Sensor de luz que detecta la noche o el día
Sensor de Luz 2	D7	Entrada	Digital	Sensor de luz que detecta Luz solar fuerte
Sensor de Luz 3	D8	Entrada	Digital	Sensor de luz que detecta Luz solar fuerte

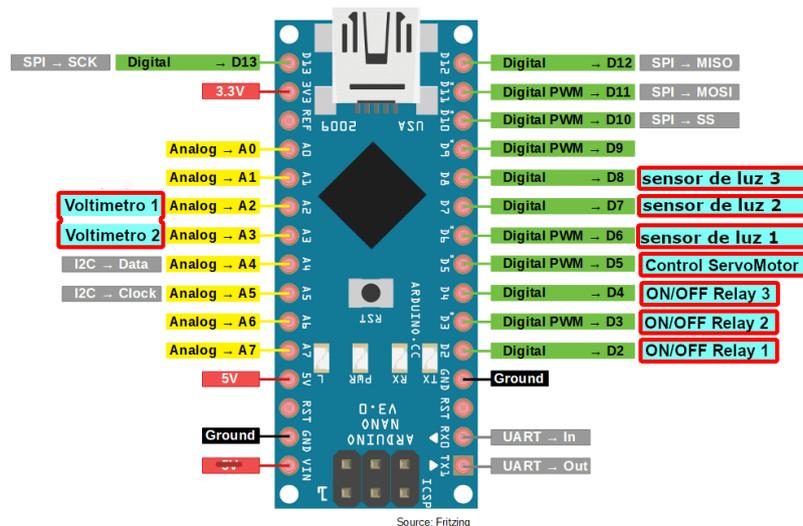


Figura 2.18. Diagrama de Pines del Arduino nano

### 2.3.7.2 Raspberry pi 3

Raspberry Pi destaca por su capacidad de procesamiento, superando ampliamente a la mayoría de las tarjetas de desarrollo convencionales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que presenta una limitación significativa: carece de pines analógicos. A pesar de esta restricción, se posiciona como una opción excepcional para el procesamiento de imágenes y el uso de pines digitales, lo que la convierte en una elección ideal para sistemas de vigilancia.

Gracias a su potencia de cálculo, la Raspberry Pi es capaz de gestionar de manera eficiente tareas relacionadas con el procesamiento de imágenes en el contexto de un sistema de vigilancia. Aunque no cuenta con pines analógicos, esta limitación se supera aprovechando sus múltiples pines digitales, lo cual permite conectar y controlar diversos dispositivos digitales necesarios para el sistema de vigilancia.

Tabla 2.4. Distribución de pines para Raspberry

Elemento	PIN Asignado	Entrada / Salida	Analógico / Digital	Descripción
Sensor de movimiento	GPIO 4	Entrada	Digital	Encargado de detectar movimiento para activar la cámara.
Cámara	Conector 15 pines camera	Entrada	Digital	la fotografía a la persona en caso de hurto del equipo.

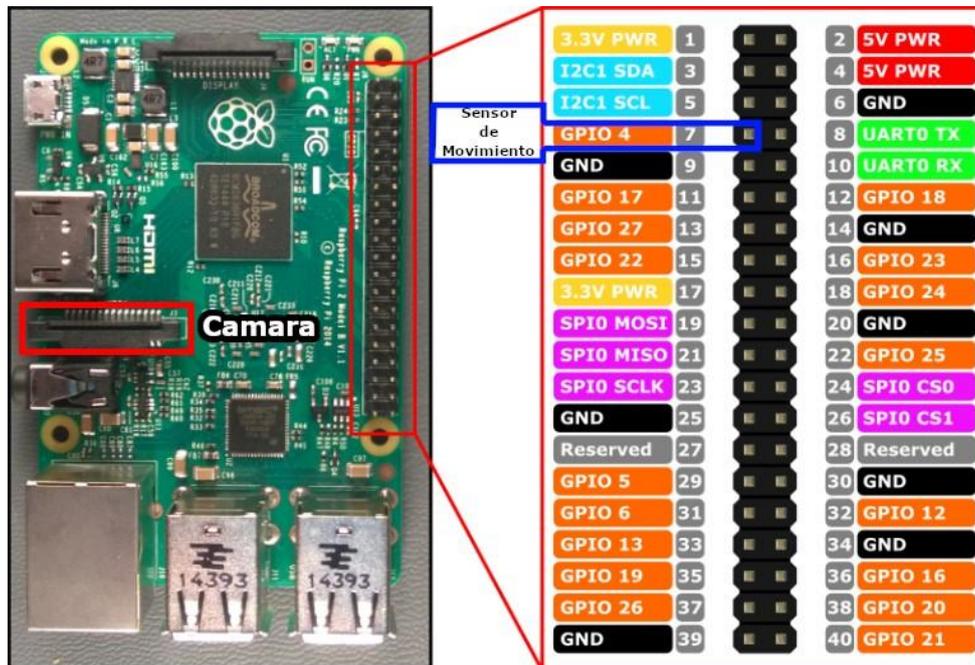


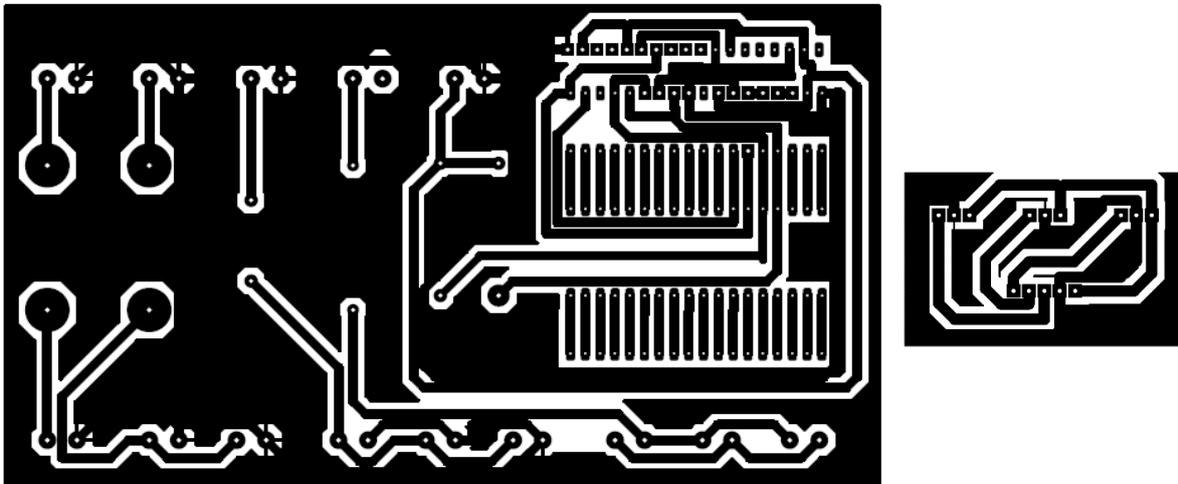
Figura 2.19. Diagrama de conexión de pines de Raspbery pi

### 2.3.8 CIRCUITO IMPRESO PCB

La PCB, o placa de circuito impreso, desempeña un papel fundamental en la instalación de todos los componentes electrónicos y las conexiones correspondientes. En el caso de nuestro sistema de energía, se ha desarrollado una placa específica para satisfacer los requisitos de diseño necesarios. Esta placa especializada alberga las entradas, salidas y diversas conexiones requeridas para el sistema.

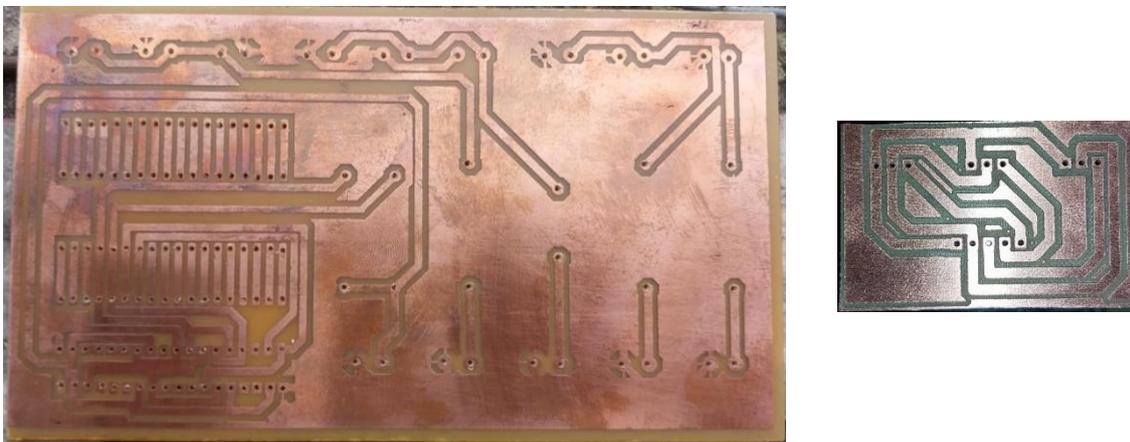
Para lograr esto, se utilizó el software de diseño Proteus, el cual permitió diseñar una placa de circuito impreso adaptada a nuestras necesidades energéticas. Una vez que el esquema de diseño se ha creado en el software, es necesario llevarlo a la realidad mediante la incorporación

de componentes físicos y la creación de las pistas, que son las conexiones físicas entre los diferentes componentes.



**Figura 2.20.** Diagrama diseñado en Proteus

Una vez completado el proceso de grabado, se retira el material oscuro y se obtiene la placa con las pistas de cobre correspondientes al diseño original. Esta placa puede ser utilizada para montar los componentes electrónicos y establecer las conexiones necesarias para el funcionamiento del circuito.



**Figura 2.21.** Placas PCB realizada del circuito principal y de los sensores de luz

### 2.3.9 CAJA DE MONTAJE

La caja de montaje albergará todos los componentes físicos del sistema de energía. Además de ser el esqueleto del sistema, también desempeñará un papel crucial al proteger dichos componentes. Es importante tener en cuenta que la caja no debe ser excesivamente gruesa o pesada, ya que esto dificultaría su transporte. Por esta razón, se ha optado por utilizar aluminio de color negro y acrílico negro en el montaje, ya que estos materiales son resistentes y, sobre todo, livianos.

Para el corte del acrílico, se ha empleado una cortadora láser, lo que permite obtener cortes precisos y de alta calidad. Los planos de diseño detallados se encuentran adjuntos en el anexo II .



**Figura 2.22.** Caja para montar todo el circuito electrónico

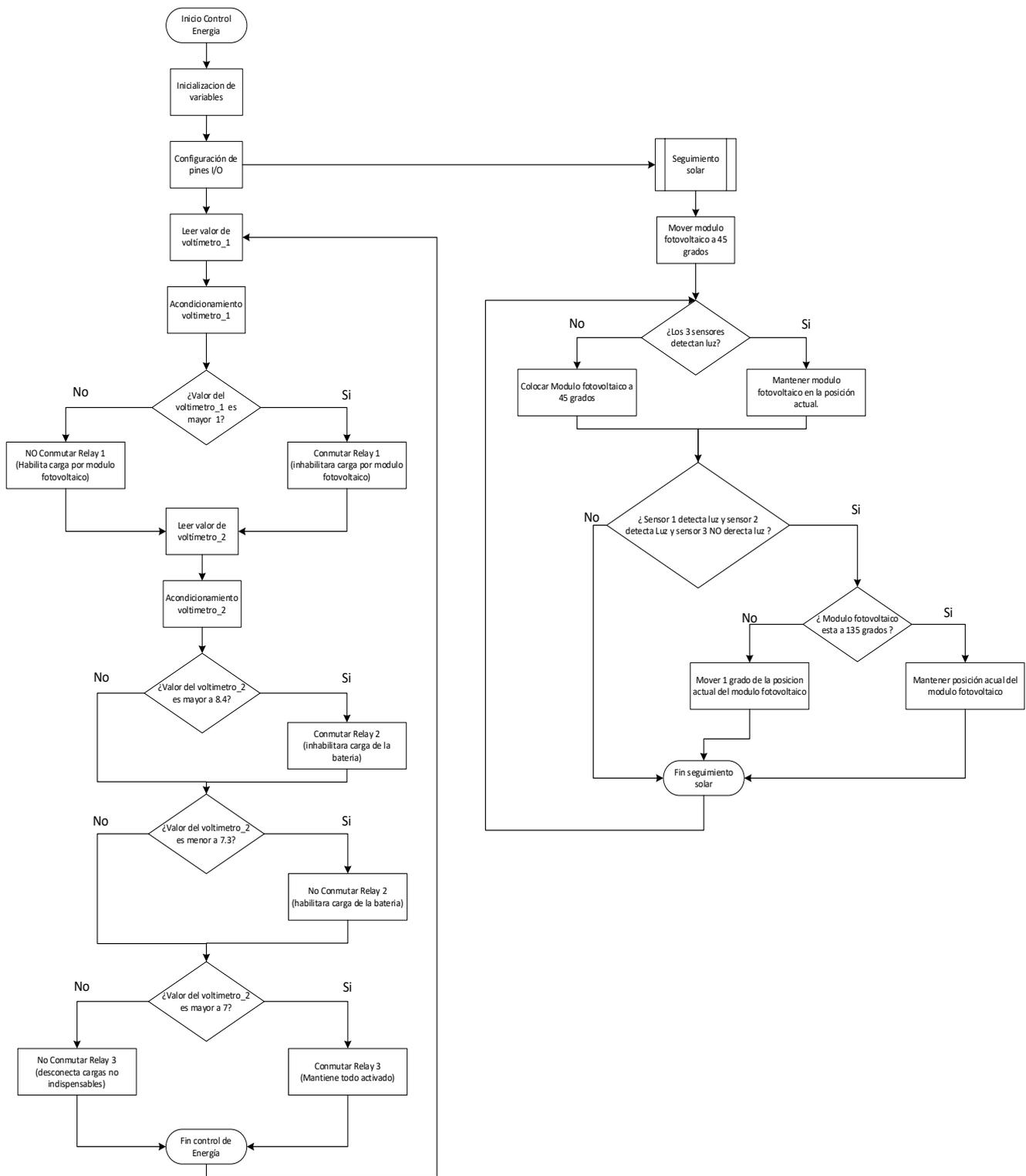
## **2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE**

El software es el conjunto de programas que se ejecutan en el microcontrolador y son responsables de llevar a cabo las tareas de control de la energía y el correcto funcionamiento del sistema de vigilancia. A continuación, se presenta un diagrama de flujo que describe el funcionamiento de estos programas de manera detallada.

### **2.4.1 PROGRAMA DEL SISTEMA DE ENERGÍA Y MODULO FOTOVOLTAICO**

La Figura 2.23 muestra el diagrama de flujo que representa la programación implementada en la tarjeta de desarrollo Arduino Nano. Esta programación se enfoca específicamente en dos tareas principales:

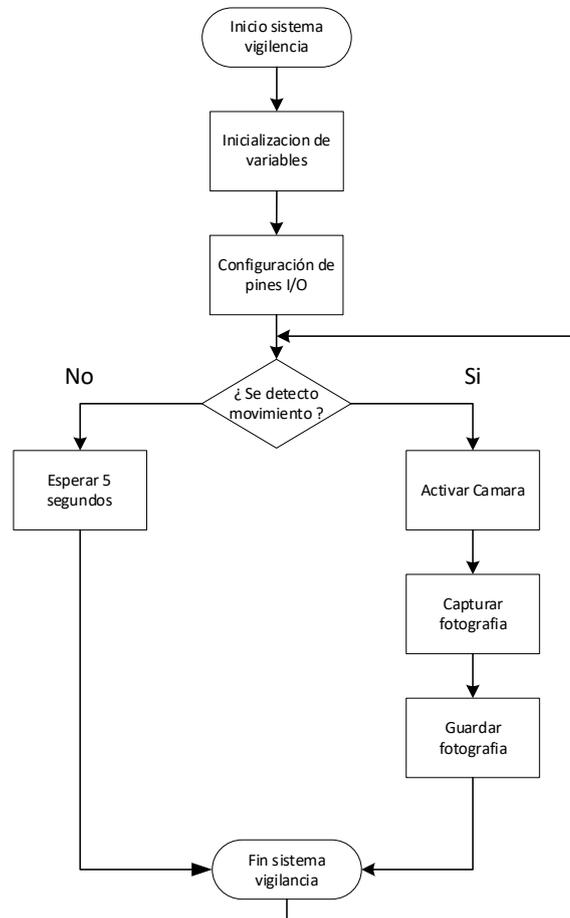
- El seguimiento solar
- La gestión de la energía.



**Figura 2.23.** Diagrama de flujo de la programación de gestión de la energía

## 2.4.2 PROGRAMA DEL SISTEMA DE VIGILANCIA

La figura 2.24 muestra el diagrama de flujo del programa del sistema de vigilancia implementado en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3. Este programa se encarga de coordinar y controlar las diferentes funciones del sistema de vigilancia.



**Figura 2.24.** Diagrama de flujo de la programación de sistema de vigilancia

## 2.5 MODULO ADICIONAL EXTERNO

El sistema original ha demostrado un rendimiento satisfactorio. Sin embargo, debido a la inesperada demanda energética del sistema acústico, se requirió una modificación en el circuito original para acoplar con un módulo externo. Este módulo externo proporcionará energía en corriente alterna (AC) al sistema acústico.

Con la implementación del nuevo módulo se verificará la carga y descarga de la batería, asegurando su integración efectiva con el sistema inicial.

Para obtener información detallada sobre el nuevo módulo y las adaptaciones realizadas, se puede consultar el ANEXO VIII.

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al sistema ensamblado y en funcionamiento. Además, se exponen conclusiones clave y se ofrecen recomendaciones para optimizar la eficiencia del prototipo.

#### 3.1 RESULTADOS

##### 3.1.1 SISTEMA DE ENERGÍA FUNCIONANDO TOTALMENTE ARMADO

Después de completar el ensamblaje del prototipo y solucionar los errores y problemas relacionados con el hardware, logramos obtener el sistema de energía planificado con todas las características deseadas. Podemos apreciar detalladamente el resultado final en la figura 3.1.



**Figura 3.1.** Prototipo de sistema energético

El funcionamiento del sistema es sencillo y se basa en una serie de etapas. Una vez que el sistema se pone en marcha, los sensores de luz determinan la condición actual. Si se detecta luz solar, el sistema orienta el módulo fotovoltaico para que esté perpendicular al sol, lo que permite su carga. La energía solar generada pasa a través de reguladores y protecciones antes de cargar la batería. En caso de que la luz solar no sea suficiente para alimentar el sistema, se puede recurrir a la red eléctrica para la carga.

El sistema de energía también está equipado con una cámara y un sensor de presencia. Si se detecta la presencia de un intruso cercano, el sensor activa la cámara para capturar una fotografía del posible sospechoso.

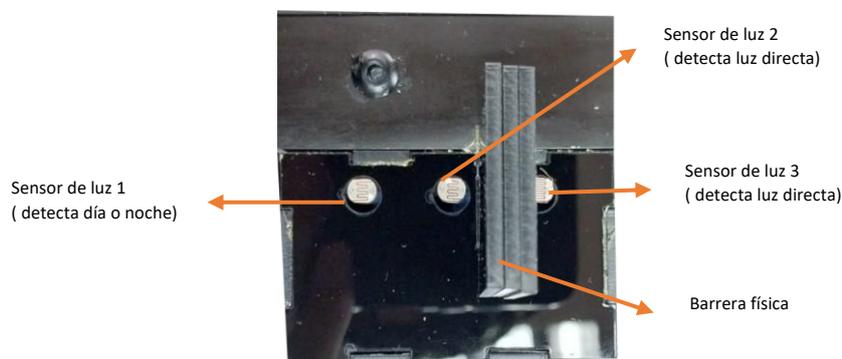
Para obtener más información detallada sobre el sistema de energía, se recomienda consultar el manual de usuario adjunto en el anexo IX de este documento.

### 3.1.2 SEGUIDOR DE LUZ SOLAR

Para lograr que el módulo fotovoltaico siga la trayectoria del sol, se han implementado tres sensores de luz, dos de estos sensores están ubicados en posiciones opuestas con una barrera física entre ellos. Esta barrera física tiene la función de determinar si el módulo se encuentra perpendicular al sol. Si no lo está, la barrera crea una sombra que activa un movimiento en el módulo fotovoltaico para corregir su posición.

El tercer sensor de luz tiene una función diferente: determinar si es de día o de noche. Durante el día, el sistema se mantiene activo y en funcionamiento. Sin embargo, durante la noche, el módulo se coloca en una posición de reposo de 45 grados, ya que no hay suficiente luz solar para generar energía.

De esta manera, con la combinación de los sensores de luz y la barrera física, se logra que el módulo fotovoltaico siga la trayectoria del sol y maximice la captación de energía solar durante el día.



**Figura 3.2.** Sensores de luz

Con el fin de verificar el funcionamiento del sistema de seguimiento solar, se realizó una prueba exhaustiva utilizando un ordenador para monitorear la posición del módulo fotovoltaico a lo largo de un día completo, este se colocó en un patio y se verificó cada hora la posición del módulo fotovoltaico obteniendo los resultados de la tabla 3.1



**Figura 3.3.** Prueba de seguimiento solar

**Tabla 3.1.** Registro de inclinación del módulo solar durante 14 horas

Hora	Inclinación
6:00	65
7:00	65
8:00	65
9:00	65
10:00	78
11:00	82
12:00	92
13:00	99
14:00	110
15:00	122
16:00	125
17:00	125
18:00	125
19:00	65
20:00	65

Estos resultados confirman el correcto funcionamiento del sistema de seguimiento solar, ya que el módulo fotovoltaico fue capaz de ajustarse automáticamente a la posición del módulo fotovoltaico con el sol.

### **3.1.3 CARGA DE LA BATERÍA**

Con el objetivo de cargar la batería, se dispone de dos métodos: a través del módulo fotovoltaico y mediante la red eléctrica. Para asegurarse de que el sistema se carga de manera adecuada, se llevaron a cabo pruebas de carga utilizando ambos métodos. Estas pruebas tenían como

finalidad determinar el tiempo de carga del sistema y verificar que la carga se realizara de manera eficiente.

### 3.1.3.1 Carga por modulo fotovoltaico

La carga de la batería se llevó a cabo desde las 7:30 AM hasta las 6:00 PM, durante este período el sistema de energía estuvo en funcionamiento con la batería inicialmente casi descargada. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

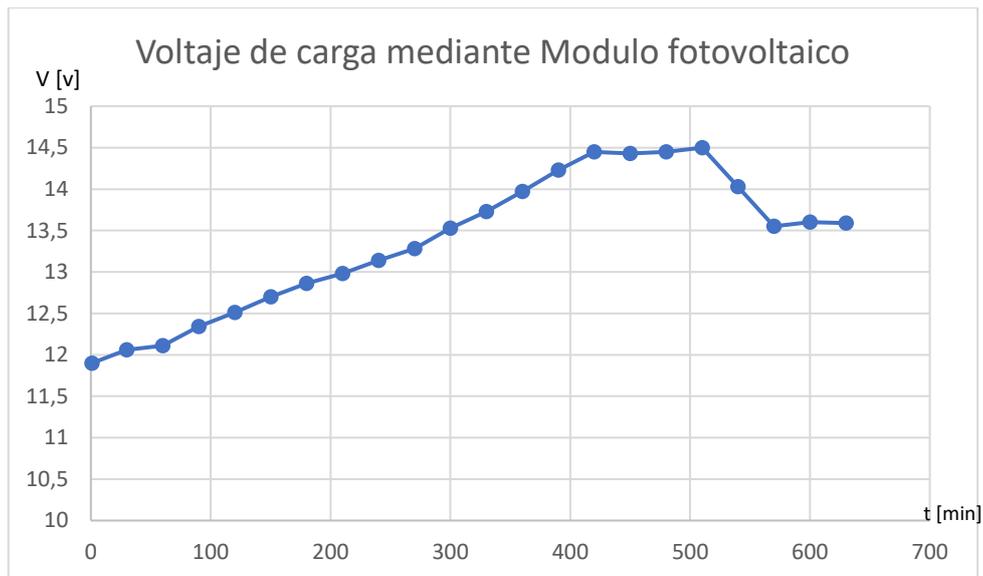
**Tabla 3.2.** Carga de la batería con modulo fotovoltaico durante 10:30

<b>Carga de la batería con modulo fotovoltaico</b>			
Hora	Tiempo [min]	Voltaje [V]	Corriente [mA]
7:30	1	11,9	1638
8:00	30	12,06	1768
8:30	60	12,11	1703
9:00	90	12,34	1598
9:30	120	12,51	1735
10:00	150	12,7	1698
10:30	180	12,86	1736
11:00	210	12,98	1803
11:30	240	13,14	1748
12:00	270	13,28	1791
12:30	300	13,53	1752
13:00	330	13,73	1686
13:30	360	13,97	1724
14:00	390	14,23	1684
14:30	420	14,45	1623
15:00	450	14,43	1389
15:30	480	14,45	1003
16:00	510	14,5	867
16:30	540	14,03	516
17:00	570	13,55	321
17:30	600	13,6	208
18:00	630	13,59	130

En la tabla de carga de la batería utilizando el módulo fotovoltaico, se puede apreciar que el voltaje de la batería alcanza su máximo de 14.45 V, lo que indica que está en el estado de absorción para luego pasar a un estado conocido como flotante en donde su voltaje disminuye y permanece constante y absorbe pequeñas cantidades de corriente. Además, al observar el gráfico de voltaje durante la carga mediante el módulo fotovoltaico, se puede notar un incremento más rápido en el voltaje alrededor de los 300 minutos. Este comportamiento se

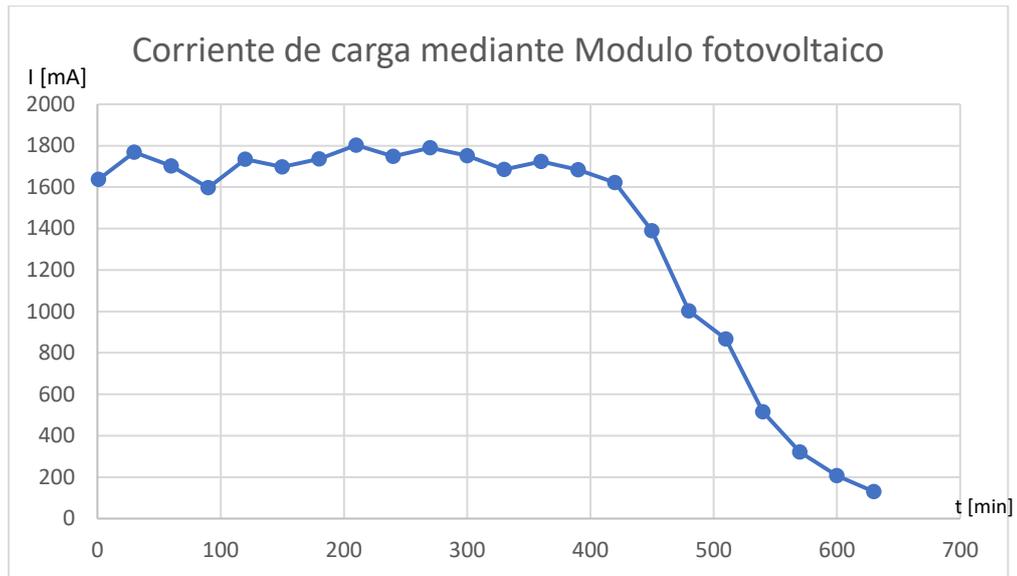
debe a que en ese momento el panel solar se encuentra orientado perpendicularmente al sol, con una mayor irradiación solar, la cual favorece un proceso de carga más eficiente.

Estos datos evidencian la importancia de la posición y la irradiación solar en el proceso de carga del sistema. Cuando el panel solar se encuentra correctamente orientado hacia el sol, se maximiza la captación de energía solar y se acelera el proceso de carga de la batería. Por lo tanto, es crucial aprovechar los momentos de mayor irradiación solar para obtener una carga óptima y garantizar el rendimiento óptimo del sistema de energía.



**Figura 3.4.** Tiempo Vs Voltaje mediante carga fotovoltaica

Al analizar la figura 3.5 de la corriente de carga mediante el módulo fotovoltaico, se puede observar que en ciertos momentos la corriente disminuye. Esta disminución se debe a condiciones climáticas como cielos nublados o alta nubosidad en el momento de la medición. Estos fenómenos climáticos pueden afectar el rendimiento del módulo fotovoltaico al reducir la cantidad de luz solar que alcanza el panel. Es importante destacar que estos escenarios de nubosidad estaban contemplados durante el diseño del sistema. A pesar de estas condiciones adversas, el sistema está diseñado para completar su carga utilizando el módulo fotovoltaico seleccionado.



**Figura 3.5.** Tiempo Vs Corriente mediante carga fotovoltaica

### 3.1.3.2 Carga por red eléctrica

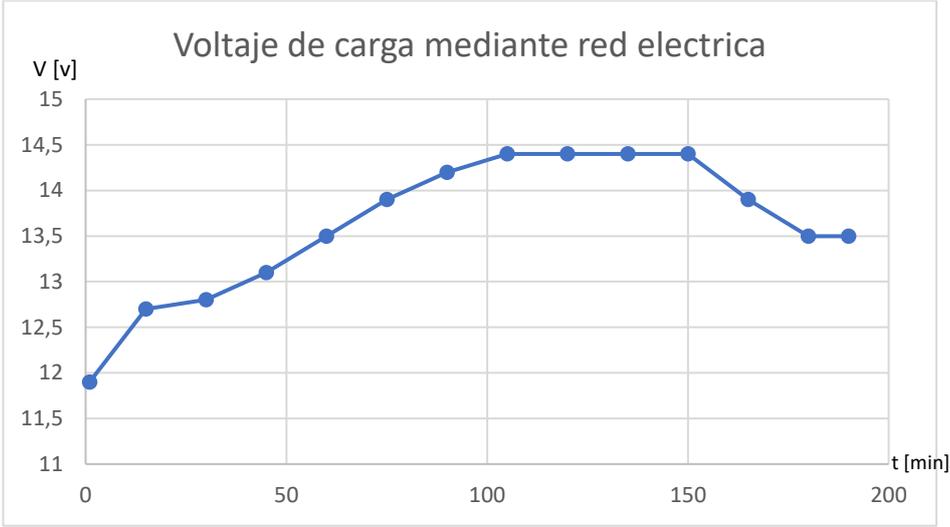
La carga del sistema de energía a través de la red eléctrica es un complemento que tiene el sistema de energía y es necesario verificar su funcionamiento por lo cual se cargó la batería por medio de este medio en un entorno cubierto, bajo techo. Durante este proceso, se conectó el sistema a la fuente de alimentación eléctrica y se registraron los siguientes resultados:

**Tabla 3.3.** Carga de la batería con la red eléctrica

Carga de la batería con la red eléctrica		
Tiempo [min]	Voltaje [V]	Corriente [A]
1	11,9	6,11
15	12,7	6,3
30	12,8	6,3
45	13,1	6,3
60	13,5	6,3
75	13,9	6,3
90	14,2	6,2
105	14,4	5,7
120	14,4	3
135	14,4	1,6
150	14,4	1,1
165	13,9	0,4
180	13,5	0,1
190	13,5	0,1

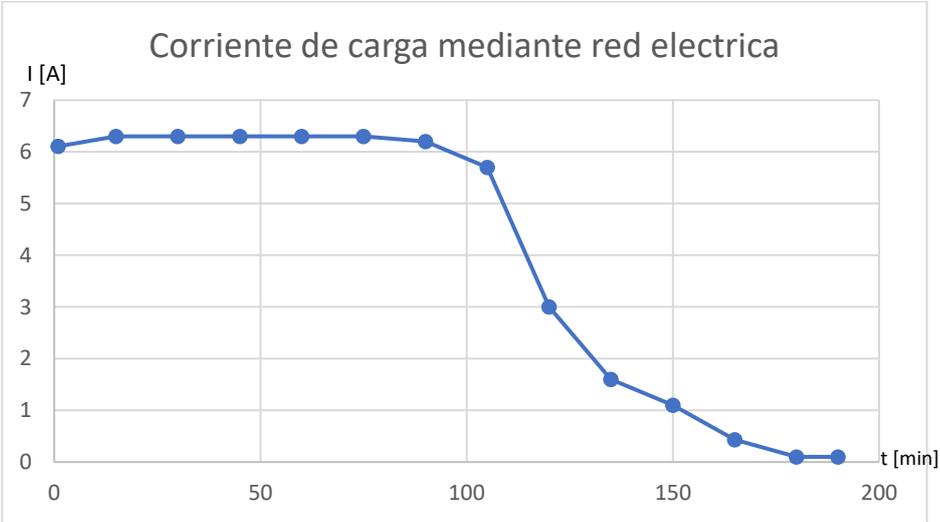
En la tabla 3.3 de carga de la batería mediante la red eléctrica, se puede observar que el voltaje de la batería alcanza su valor máximo de 14.40 V, lo que indica que está en su etapa de absorción de energía y al bajar a 13.5 V la corriente que absorbe es muy pequeña.

Al analizar el gráfico de voltaje de carga mediante la red eléctrica, se puede apreciar que el voltaje aumenta de manera casi constante durante el proceso de carga. Esta tendencia ascendente indica que la batería está recibiendo una corriente constante y el sistema está funcionando correctamente.



**Figura 3.6.** Tiempo Vs Voltaje mediante carga de la red eléctrica

En el gráfico de la corriente de carga mediante la red eléctrica, se puede observar un comportamiento en el cual la corriente inicial es alta pero conforme pasa el tiempo esta va decreciendo, esto es debido a que conforme la batería se carga la corriente va disminuyendo hasta ser casi cero lo cual indica que la batería está completamente cargada.



**Figura 3.7.** Tiempo Vs corriente mediante carga de la red eléctrica

### 3.1.4 AUTONOMÍA DE LA BATERÍA

La autonomía de la batería es un aspecto crucial en el sistema, debido a que sin esta la todo el sistema no puede funcionar.

Para evaluar la autonomía de la batería, se llevó a cabo una prueba en la que se desconectaron todas las fuentes de carga y se permitió que el sistema funcionara únicamente con la energía almacenada en la batería.

El desglose preciso del consumo de energía se encuentra minuciosamente registrado en la Tabla 2.2, donde se refleja la cantidad de energía requerida por cada componente. Asimismo, en el Anexo VIII se presenta una estimación detallada del consumo del sistema de sensado, lo cual llevó a realizar modificaciones en el diseño original del sistema.

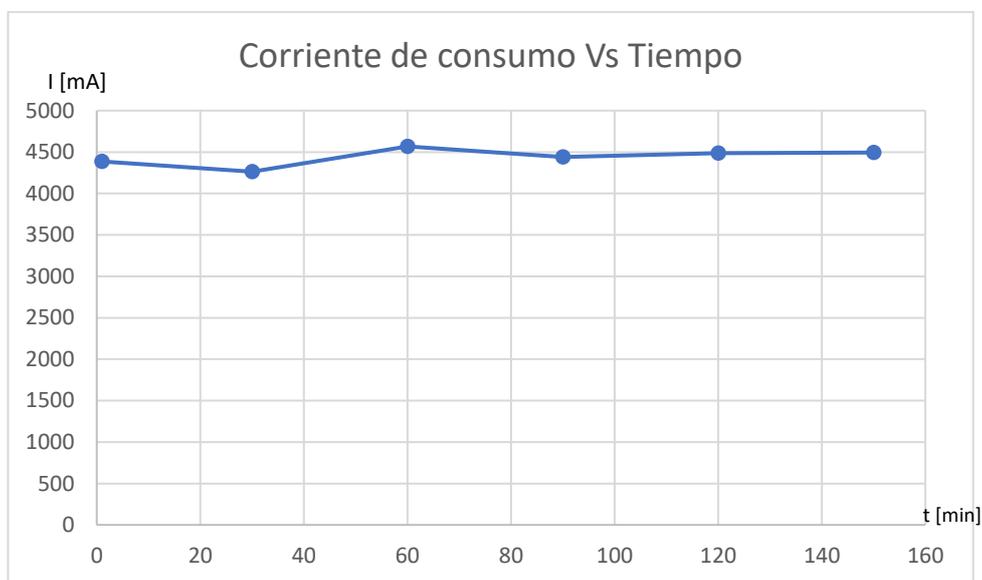
**Tabla 3.4.** Consumo de energía en general

<b>Tipo de carga</b>	<b>Corriente de consumo [mA]</b>	<b>Descripción</b>
Cargas que funcionan siempre	86	Elementos que siempre deben estar funcionando
Cargas que consumen alta corriente	4900	Elementos que consumen mucha corriente, pero funcionan menos de 12 horas
Cargas que funcionan ocasionalmente	1070	Elementos que funcionan ocasionalmente y solo se activan bajo ciertas circunstancias

La Tabla 3.4 presenta tres categorías distintas de consumo, entre las cuales, las más relevantes son las cargas de funcionamiento constante y aquellas que demandan corrientes elevadas. Estas últimas son especialmente críticas, ya que pueden agotar la batería en un lapso corto si permanecen activas de manera continua. La evaluación de autonomía se llevó a cabo en un entorno al aire libre, donde todos los componentes operaron en condiciones normales, y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 3.5.** Resultados de la descarga de la batería

Tiempo descarga de la batería		
Tiempo [min]	Voltaje [V]	Corriente [mA]
1	13,3	4385
30	12,82	4263
60	12,67	4568
90	12,43	4439
120	12,07	4486
150	11,71	4493



**Figura 3.8.** Consumo de corriente del sistema de energía

Durante la prueba realizada, se pudo constatar que la batería tuvo un rendimiento satisfactorio al funcionar de manera continua durante un período de dos hora y media.

### 3.1.5 VOLTAJE DE SALIDA A LOS PERIFÉRICOS

Es fundamental asegurarse de que el voltaje de salida hacia los periféricos sea el adecuado, ya que un voltaje inadecuado puede provocar daños tanto al sistema de energía como a los dispositivos conectados a él. Por esta razón, se realizó una medición del voltaje en las salidas hacia los periféricos.

### 3.1.5.1 Voltaje de salida DC

En el voltaje DC que se obtuvo es de un valor de 5.25V, el cual se aproxima al valor deseado de 5V.

Es importante destacar que este valor de 5.25V se considera aceptable y se encuentra dentro de los límites de tolerancia aceptados para un funcionamiento seguro y eficiente de los periféricos.

$$Error \% = \frac{5 - 5.25}{5} = 0.05\%$$

El error en la medición del voltaje es insignificante, lo que indica que el valor obtenido es válido y que los elementos conectados funcionarán correctamente.



Figura 3.9. Voltaje medido en los USB para periféricos

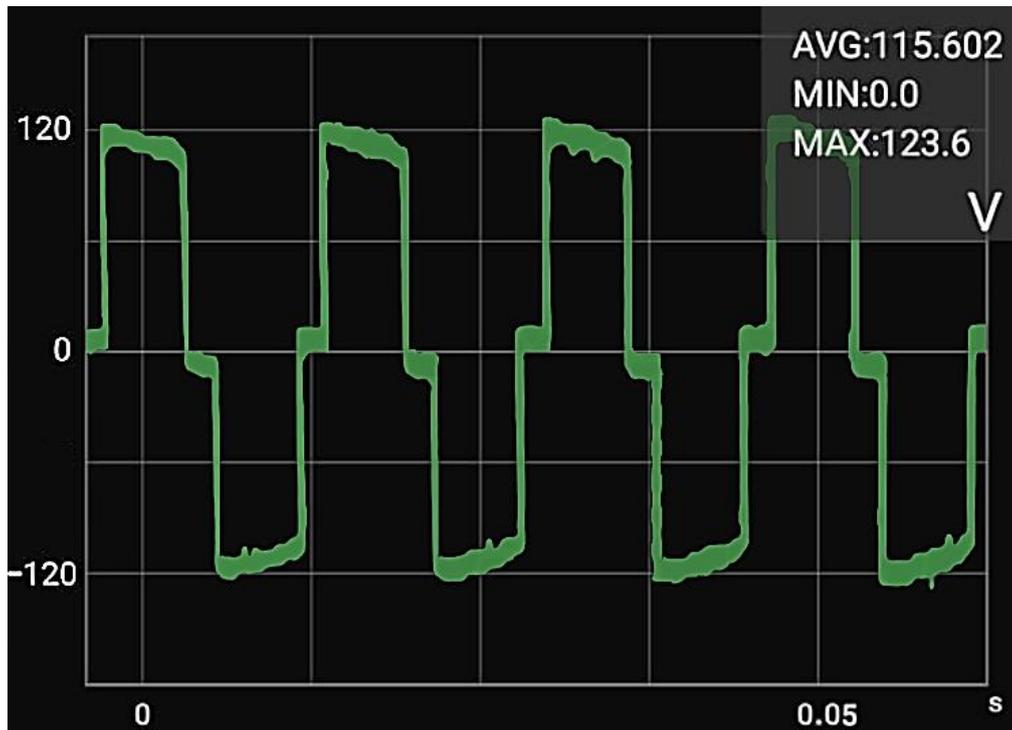
### 3.1.5.2 Voltaje de salida AC

En el voltaje AC que se obtuvo es de un valor de 115V, el cual se aproxima al valor deseado de 120V.

Dado a que la variación del valor deseado al valor obtenido no es muy grande se puede considerar como aceptable.

$$Error \% = \frac{120 - 115}{120} = 0.0416\%$$

Como el error es de apenas 0.0416% el voltaje que se obtuvo es válido para el uso hacia los periféricos respectivos.



**Figura 3.10.** Voltaje medido en el tomacorriente del módulo externo

### 3.2 CONCLUSIONES

La batería provee la energía necesaria que permite alimentar al sistema de sensado y de procesamiento de forma adecuada para su correcto funcionamiento.

Se determino que los requerimientos para el correcto funcionamiento del sistema de sensado y de procesamiento fueron 120V AC a 0.4A y 5V DC a 500 mA respectivamente

Se determino que para el funcionamiento adecuado del sistema de energía se debe utilizar una batería seca de 12V con una capacidad mínimo de 12Ah, un módulo fotovoltaico de 30W y reguladores de voltaje que logren soportar mínimo 12V y 5A con la finalidad de que funcionen adecuadamente

Se obtuvo un módulo solar monocristalino de un rendimiento al alto el cual fue elegido por que cumple las características de voltaje y corriente necesarias para poder cargar una batería de 12V.

De entre todos los módulos fotovoltaicos del mercado disponibles se seleccionó el "Me solar" de 12V 30W debido a que tiene una capa protectora que cuida las celdas fotovoltaicas y por su tamaño es fácil y compacto de trasladar lo cual lo hace muy portable.

De entre todos los modelos de baterías que existen en el mercado se escogió la batería FirstPower de 12V con una capacidad de 12 Ah la cual suministra energía suficiente a todo el sistema de carga garantizando su funcionamiento durante varias horas.

En el seguimiento solar realizado se determinó que las horas de luz recibida con de aproximadamente 10:30 horas

Se obtuvo un cargador con un voltaje de 12V y 6 A para facilitar la carga rápida de la batería por medio de la red eléctrica en caso de que debido al ambiente el panel no logre cargar la batería adecuadamente.

Incorporar cámaras de seguridad brinda protección al equipo, ya que disuade a posibles ladrones de intentar robarlo al saber que están siendo vigilados. Esta medida aumenta la confiabilidad para dejar el equipo en lugares remotos.

Durante las pruebas de energía, se estableció que la batería puede cargarse en un lapso aproximado de 10:30 horas, bajo condiciones atmosféricas óptimas. Además, se observó que los voltajes de salida hacia los periféricos exhiben un error inferior al 1%, lo cual indica que su rendimiento es satisfactorio y dentro de los parámetros aceptables.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

Hacer una evaluación de campo posterior a los 3 meses de la implementación dependiendo del resultado se podrá ampliar la capacidad de la batería según se considere necesario

Se recomienda que para aumentar la autonomía de funcionamiento del sistema se podría mejorar la capacidad de el batería para aumentar la autonomía

Se recomienda utilizar una batería 30 Ah si se busca expandir el sistema y sensar más de una tubería

Se recomienda aumentar la capacidad de los módulos fotovoltaicos para reducir el tiempo de carga de la batería

Se recomienda comprar módulos fotovoltaicos con protección ip65 con la finalidad de aumentar la vida útil del sistema de energía.

Se recomienda comprar baterías de un mínimo de calidad con la finalidad de que tengas resistencia al ambiente y mayor vida útil.

Se recomienda dar mantenimiento periódico al módulo fotovoltaico con el fin de aprovechar las escasas horas solares que puede captar el panel.

Se recomienda instalar una batería del respaldo con la finalidad de que si se agota la energía principal el sistema pueda seguir funcionando.

Se recomienda utilizar elementos electrónicos de alta eficiencia con el fin de no desperdiciar energía en forma de calor.

## 4. REFERENCIAS

- [1] G. López Martín, «Desarrollo de sistemas de micro-generación eléctrica utilizando fuentes de energía térmica de origen renovable», masters, E.T.S.I. Industriales (UPM), 2020. Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/65454/>
- [2] M. Rodríguez Gámez, A. Vázquez Pérez, A. M. Velez Quiroz, y W. M. Saltos Arauz, «Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales», *Rev. Cient.*, vol. 3, n.º 33, pp. 265-274, sep. 2018, doi: 10.14483/23448350.13104.
- [3] T. P. Benito, *El universo de las energías renovables*. Marcombo, 2013.
- [4] «Solar\_Resumen.pdf». Accedido: 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013-2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20\(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica\)/2\\_Solar/Solar\\_Resumen.pdf](http://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013-2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica)/2_Solar/Solar_Resumen.pdf)
- [5] «MAPA\_SOLAR\_DEL\_ECUADOR\_final.pdf». Accedido: 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/04/MAPA\\_SOLAR\\_DEL\\_ECUADOR\\_final.pdf](https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/04/MAPA_SOLAR_DEL_ECUADOR_final.pdf)
- [6] «R08-002 - Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems - US.pdf». Accedido: 19 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cedengineering.com/userfiles/R08-002%20-%20Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20-%20US.pdf>
- [7] Q. Nuñez, J. David, y M. Manrique, «INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA».
- [8] «CALCULOS\_SISTEMA\_SOLAR\_FOTOVOLTAICO\_30ABR.pdf». Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Abril/CALCULOS\\_SISTEMA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICO\\_30ABR.pdf](https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Abril/CALCULOS_SISTEMA_SOLAR_FOTOVOLTAICO_30ABR.pdf)
- [9] «Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System (A ... / design-methodology-of-off-grid-pv-solar-powered-system-a.pdf / PDF4PRO», *PDF4PRO*, 8 de agosto de 2019. <https://pdf4pro.com/view/design-methodology-of-off-grid-pv-solar-powered-system-a-6ea1ee.html> (accedido 30 de junio de 2023).
- [10] O. Perpiñán Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2011.
- [11] E. B. School, «Tipos Instalaciones Solares Fotovoltaicas | Euroinnova», *Euroinnova Business School*. <https://www.euroinnova.ec/blog/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas> (accedido 21 de junio de 2023).
- [12] I. E. P. Soto, «CELDAS FOTOVOLTAICAS EN GENERACION DISTRIBUIDA», 2005.

- [13] «Celdas-Células y Paneles Fotovoltaicos - Energía Solar Fotovoltaica». <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica/celdas-celulas-y-paneles-fotovoltaicos-l37003> (accedido 21 de junio de 2023).
- [14] «renlux-paneles-fv.pdf». Accedido: 17 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- [15] «renlux-paneles-fv.pdf». Accedido: 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- [16] H. Fernández, A. Martínez, V. M. Guzmán, y M. I. Giménez, «Modelo genérico de celdas fotovoltaicas», *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 12, n.º 48, pp. 157-162, jul. 2008.
- [17] O. M. Akeyo, «Analysis and Simulation of Photovoltaic Systems Incorporating Battery Energy Storage», 2017, doi: 10.13023/ETD.2017.370.
- [18] T. Vargas y A. Abrahamse, «TRAZADOR DE CURVAS I-V DE CÓDIGO ABIERTO PARA MONITOREO DE RENDIMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BOLIVIA», *Investigación & Desarrollo*, vol. 1, n.º 14, pp. 100-116, 2014.
- [19] C. S. JULIÁN, *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2016.
- [20] «Cómo y por qué cubrir placas solares», *Blog de energía solar*, 24 de enero de 2023. <https://solarplak.es/energia/como-y-por-que-cubrir-placas-solares/> (accedido 22 de junio de 2023).
- [21] J, « Inversor Off Grid», *INVERSORES*, 2 de febrero de 2023. <https://estudionfpa.org/inversor-off-grid/> (accedido 21 de junio de 2023).
- [22] «Energía solar Archives - Sopelia es la plataforma solar de América Latina.» <https://www.energiasolar.lat/tag/energia-solar/> (accedido 24 de junio de 2023).
- [23] <https://www.areatecnologia.com>, «Paneles Solares». <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html> (accedido 25 de junio de 2023).
- [24] cpmsolar, «conectar paneles o baterías», *Cpm Solar*, 17 de septiembre de 2019. <https://cpmsolar.com/2019/09/17/conectar-paneles-o-baterias/> (accedido 25 de junio de 2023).
- [25] T. Solar, «Jardín Solar: ¿Monocristalino o policristalino?», *Jardín Solar*, 5 de marzo de 2015. <http://jardin-solar.blogspot.com/2015/03/monocristalino-o-policristalino.html> (accedido 26 de junio de 2023).
- [26] B. Urbano, «Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino) en Bogotá».

- [27] P. L. Ruiz y E. G. I. Dolcet, «DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA AISLADA.».
- [28] R. D. Bonilla Isaza, «Control difuso aplicado a un convertidor DC-DC buck para una carga no lineal», *Tecnura*, vol. 20, n.º 48, pp. 117-148, abr. 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a10.
- [29] «AC-EAC-ESPE-047913.pdf». Accedido: 31 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8305/1/AC-EAC-ESPE-047913.pdf>
- [30] «Fig. 1. Esquema del inversor a puente completo», *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/figure/Esquema-del-inversor-a-puente-completo\\_fig1\\_276713738](https://www.researchgate.net/figure/Esquema-del-inversor-a-puente-completo_fig1_276713738) (accedido 31 de julio de 2023).
- [31] N. G. Tejera, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERSOR VARIADOR DC-AC».
- [32] Orsonz, «Para qué sirve un inversor de corriente?», *Guangdong Prostar New Energy Technology Co., Ltd.*, 10 de diciembre de 2021. <https://www.prostarsolar.net/es/para-que-sirve-un-inversor-de-corriente.html> (accedido 31 de julio de 2023).
- [33] C. P. Ordóñez y J. P. Guerra, «ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.».
- [34] GONZÁLEZ SANTACRUZ, «ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BATERÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES PARA SU INTEGRACIÓN EN EL PROYECTO DE UNA MICRORRED AISLADA», UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogota, 2015.
- [35] «clip\_image002\_thumb.jpg (458x379)». [https://i0.wp.com/triplenlace.com/wp-content/uploads/2015/04/clip\\_image002\\_thumb.jpg?resize=458%2C379](https://i0.wp.com/triplenlace.com/wp-content/uploads/2015/04/clip_image002_thumb.jpg?resize=458%2C379) (accedido 26 de junio de 2023).
- [36] «Batería de níquel-cadmio», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 19 de junio de 2023. Accedido: 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bater%C3%ADa\\_de\\_n%C3%ADquel-cadmio&oldid=151940454](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bater%C3%ADa_de_n%C3%ADquel-cadmio&oldid=151940454)
- [37] «La batería de azufre de sodio de Abu Dabi se enfrenta a Tesla». <https://blogthinkbig.com/bateria-mas-grande-abu-dabi-azufre-sodio> (accedido 26 de junio de 2023).
- [38] «Batería Litio Samsung INR21700-50E 5000mAh, 10A». <https://www.shoptronica.com/panasonic-sanyo-samsung-lg-sony/5096-baterias-de-litio-samsung-inr21700-50e-5000mah-10a-8944748447685.html> (accedido 26 de junio de 2023).
- [39] «Baterías (Conexión)», *MR WATT Shop*. <http://www.mrwatt.eu/es/content/baterias-conexion-serieparalelo> (accedido 26 de junio de 2023).

- [40] «Conexiones en serie y en paralelo para varias baterías», *Baterías y Amperios*, 7 de abril de 2014. <https://bateriasyamperios.wordpress.com/2014/04/07/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [41] «Cómo calcular la capacidad de las baterías», *Tempel Group Argentina*, 3 de noviembre de 2020. <https://ar.tempelgroupplatam.com/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [42] «Revilla et al. - BATERÍAS CONECTADAS A LA RED. ARBITRAJE..pdf». Accedido: 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27348/TFG\\_Adrian\\_Carrasco\\_Revilla\\_2016.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27348/TFG_Adrian_Carrasco_Revilla_2016.pdf)
- [43] «Cómo calcular la capacidad de las baterías», *Tempel Group Argentina*, 3 de noviembre de 2020. <https://ar.tempelgroupplatam.com/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [44] R. Albasolar, «Calcular la capacidad de una batería solar», *Albasolar*, 5 de julio de 2022. <https://albasolar.es/como-calcular-la-capacidad-de-una-bateria-solar/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [45] E. Paredes y E. Paredes, «Trabajo de investigación».
- [46] K. Ramalingam y C. Indulkar, «Chapter 3 - Solar Energy and Photovoltaic Technology», en *Distributed Generation Systems*, G. B. Gharehpetian y S. M. Mousavi Agah, Eds., Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 69-147. doi: 10.1016/B978-0-12-804208-3.00003-0.
- [47] M. Rosa-Clot y G. M. Tina, «Chapter 4 - Submerged PV Systems», en *Submerged and Floating Photovoltaic Systems*, M. Rosa-Clot y G. M. Tina, Eds., Academic Press, 2018, pp. 65-87. doi: 10.1016/B978-0-12-812149-8.00004-1.
- [48] N. Machado Toranzo, A. Lussón Cervantes, L. L. Oro Carralero, J. Bonzon Henríquez, y O. Escalona Costa, «Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar», *Ingeniería Energética*, vol. 36, n.º 2, pp. 190-199, ago. 2015.
- [49] N. A. Tovar, E. V. González, y D. A. R. Landeros, «Propuesta de Diseño de un Seguidor Solar de Dos y Tres Ejes.», vol. 1, 2016.
- [50] admin, «Cálculo del calibre de conductores, baja tensión.», *App Game Tutoriales*, 12 de junio de 2021. <https://appgametutoriales.com/calculo-calibre-conductores/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [51] R. V. JOSÉ, *Automatismos y cuadros eléctricos*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2004.
- [52] R. M. ANTONI JOAN y B. D. OSCAR, *Sistemas eléctricos y de seguridad y confortabilidad 2.ª edición*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2016.
- [53] «Fusible de 2.5A 5x20 mm - rápido», *La Electrónica*. <https://laelectronica.com.gt/fusible-de-25a-5x20-mm---rapido> (accedido 27 de junio de 2023).

- [54] «Relé Termomagnético: ¿Qué es?, ¿Para qué sirve?, Tipos, Función», 27 de abril de 2022. <https://grupocasalima.com/blog/electricidad/rele-termomagnetico-que-es-para-que-sirve-tipos-funcion/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [55] «Recubrimiento de un cable eléctrico | Top Cable». <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/recubrimiento-cables-electricos/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [56] TopCable, «Recubrimiento de un cable eléctrico | Top Cable», *Cables y consejos eléctricos. By Top Cable*, 22 de septiembre de 2020. <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/recubrimiento-cables-electricos/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [57] «ELEMENTOS DE MANDO O MANIOBRA». [http://www.ieslosalbares.es/tecnologia/Electricidad%20II/elementos\\_de\\_mando\\_o\\_maniohra.html](http://www.ieslosalbares.es/tecnologia/Electricidad%20II/elementos_de_mando_o_maniohra.html) (accedido 27 de junio de 2023).
- [58] «Pulsador de botón cuadrado (6x6x5mm) 4 Pines – Novatronic». <https://novatronic.com/index.php/product/pulsador-de-boton-cuadrado-6x6x5mm-4-pines/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [59] «Mini interruptor rocket ON OFF», *AV Electronics*. <https://avelectronics.cc/producto/mini-interruptor-rocket-on-off/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [60] «I11435/TP1R CONMUTADOR ON-OFF-(ON)», *Diotronic (Barcelona) - Calle Muntaner, 49*. <https://diotronic.com/conmutadores-de-palanca/12187-i11435-tp1r-conm-on-off-on> (accedido 27 de junio de 2023).
- [61] «Jimenez - LABORATORIO MEDIDAS ELECTRICAS DOCUMENTO 1 CONCEPT.pdf». Accedido: 27 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/9971/DOCUMENTO%201%20CONCEPTOS%20BASICOS.pdf?sequence=1>
- [62] «Documento\_completo.pdf-PDFA.pdf». Accedido: 27 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/69967/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/69967/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [63] «Voltímetro digital DCB-72 HVdc», *CIRCUTOR*. <https://circutor.com/productos/medida-y-control/instrumentacion-digital-y-convertidores-de-medida/product/M22230./> (accedido 27 de junio de 2023).
- [64] «Amperímetro y voltímetro». [https://www.lasalleteruel.es/museo\\_virtual/amperimetrovoltimetro.html](https://www.lasalleteruel.es/museo_virtual/amperimetrovoltimetro.html) (accedido 27 de junio de 2023).
- [65] «Amperímetro digital DHC-96 Aac», *CIRCUTOR*. <https://circutor.com/productos/instrumentacion-digital-y-convertidores-de-medida/instrumentacion-digital/instrumentacion-digital-96-x-48-con-salida-analogica/product/M22358./> (accedido 27 de junio de 2023).

- [66] «5.92US \$ 50% de DESCUENTO|Batería Lipo para buscador de peces de Control remoto, piezas de repuesto para barco de cebo de pesca, Juguetes RC, accesorios 2S 2011 V 7,4 mah, T188 T888 12800 5| | - AliExpress», *aliexpress.com*. [//es.aliexpress.com/item/1005005667651147.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/1005005667651147.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=) (accedido 19 de junio de 2023).
- [67] «Cargador para Pilas de Litio de 2 Celdas – 8.4V 2A | SANDOROBOTICS». <https://sandorobotics.com/producto/hs1258/> (accedido 29 de junio de 2023).
- [68] «Comprar Panel solar monocristalino Me Solar 12V 20W», *SOLARMAT*. <https://solarmat.es/es/paneles-solares-12v/panel-solar-monocristalino-me-solar-12v-20w.html> (accedido 19 de junio de 2023).
- [69] «PORTAFUSIBLES PARA PCB 20MM 2 PIEZAS BASE Y TAPA – Grupo Electrostore». <https://grupoelectrostore.com/shop/componentes-electronicos-basicos/fusibles/portafusibles-para-pcb-20mm-2-piezas-base-y-tapa/> (accedido 20 de julio de 2023).
- [70] U. Continental, «Sílabo de Laboratorio de ingeniería electrónica», *Universidad Continental*, 2017, Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3553>
- [71] Administrador, «Regulador de voltaje con diodo zener y transistor de paso», *Electrónica Unicrom*, 31 de mayo de 2020. <https://unicrom.com/regulador-de-voltaje-con-zener-transistor/> (accedido 30 de junio de 2023).
- [72] «Cómo Conectar un Regulador de Voltaje en un Circuito». <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Como-conectar-un-regulador-de-voltaje-en-un-circuito.php> (accedido 30 de junio de 2023).
- [73] «Sensor Voltaje 25V», *AV Electronics*. <https://avelectronics.cc/producto/sensor-voltaje-25v/> (accedido 1 de julio de 2023).
- [74] «5V/3.3V 3 Pin Photosensitive Sensor Module Light Sensing Resistor Module», *Elecbee Factory*. [https://www.elecbee.com/en-25363-5V-3-3V-3-Pin-Photosensitive-Sensor-Module-Light-Sensing-Resistor-Module?network=g&campaign=18719854073&adgroup=140153146062&creative=630917925115&keyword=&target=aud-1960128973579:pla-296303633664&matchtype=&devicemodel=&placement=&feeditemid=&adpostition=&gclid=EAlaIqObChMlmsje\\_u\\_t\\_wlVzBOtBh0ngwNeEAQYBCABEgIELvD\\_BwE](https://www.elecbee.com/en-25363-5V-3-3V-3-Pin-Photosensitive-Sensor-Module-Light-Sensing-Resistor-Module?network=g&campaign=18719854073&adgroup=140153146062&creative=630917925115&keyword=&target=aud-1960128973579:pla-296303633664&matchtype=&devicemodel=&placement=&feeditemid=&adpostition=&gclid=EAlaIqObChMlmsje_u_t_wlVzBOtBh0ngwNeEAQYBCABEgIELvD_BwE) (accedido 1 de julio de 2023).
- [75] «Cursos de Sistemas - Programa de Ingenieria de Sistemas Unipamplona - Sensor de Movimiento PIR HC-SR501». [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_74/recursos/visual-basico-para-excel/17052017/u5\\_movimiento.jsp](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_74/recursos/visual-basico-para-excel/17052017/u5_movimiento.jsp) (accedido 1 de julio de 2023).

- [76] «Camara para Raspberry Pi 3 / Pi 4 de 5MP - Genérica», *Electronilab*.  
<https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/> (accedido 1 de julio de 2023).
- [77] «INTERRUPTOR DOBLE LUMINOSO EMPOTRADO 16 A», *EDM Product*.  
<https://edmproduct.com/producto/interruptor-doble-luminoso-empotrado-16-a/> (accedido 1 de julio de 2023).
- [78] <https://www.facebook.com/profetolocka>, «Módulo de 4 relés para Arduino | profe Tolocka», 9 de mayo de 2015. <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/> (accedido 1 de julio de 2023).
- [79] «Modulo Relay rele de 4 canales». <https://www.todomicro.com.ar/arduino/250-modulo-relay-rele-de-4-canales.html> (accedido 1 de julio de 2023).
- [80] «20.52US \$ |Servo de alta velocidad para coches teledirigidos, servo de alta velocidad, engranaje de Metal Digital, 20Kg, 25Kg, 30Kg, 35Kg, 40Kg, escala 1/8 1/10, 1 unidad|waterproof servo|digital servoservo 20kg - AliExpress», *aliexpress.com*.  
[https://es.aliexpress.com/item/1943129663.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/1943129663.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=) (accedido 1 de julio de 2023).
- [81] saviat, «Antes de Comprar un Servomotor Debes... | MECÁNICA MODERNA», 27 de septiembre de 2018. <https://mecmod.com/todo-lo-que-necesitas-saber-antes-de-comprar-un-servomotor/> (accedido 1 de julio de 2023).

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. TABLA DE VALORES PARA CÁLCULO DE CONDUCTORES

ANEXO II. DIAGRAMA CAJA

ANEXO III. DATASHEET BATERIA

ANEXO IV. DATASHEET MODULO FOTOVOLTAICO

ANEXO V. DATASHEET SENSOR DE VOLTAJE

ANEXO VI. DATASHEET REGULADOR VOLTAJE

ANEXO VII. DATASHEET SENSOR PIR

ANEXO VIII. MODULO EXTERNO

ANEXO XI. MANUAL DE USUARIO