

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA Y ELECTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS
CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL
LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNJ.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELECTRICISTA**

Autores: Bach. Eyler Mejía Villalobos.

Bach: Kessley Mejía Villalobos.




Asesores: Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez
Mg. Frans Fuentes Maza

Línea de investigación: Automatización y control

JAÉN-PERÚ 2025

Eyler Mejía Villalobos; Kessley Mejía Villalobos

PROTOTIPO AUTOMATIZADO DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL LABORAT...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::1:3446537430

96 páginas

Fecha de entrega
16 dic 2025, 12:31 p.m. GMT-5

17.572 palabras

Fecha de descarga
16 dic 2025, 12:42 p.m. GMT-5

106.764 caracteres

Nombre del archivo
illalobos_-_Eyler_Mej_a_Villalobos_-_INFORME_-_kessley_mejia.pdf

Tamaño del archivo
2.1 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huaman Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




1% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)


Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huanán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día martes 23 de diciembre del 2025, siendo las 15:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal : Mtro. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
- (X) Tesis
- () Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERIAS CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNJ"

Presentado por los bachilleres: **Juan Eyler Mejía Villalobos y Kessley Mejía Villalobos**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

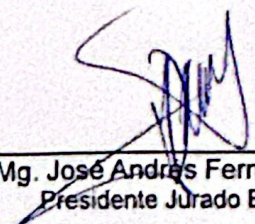
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

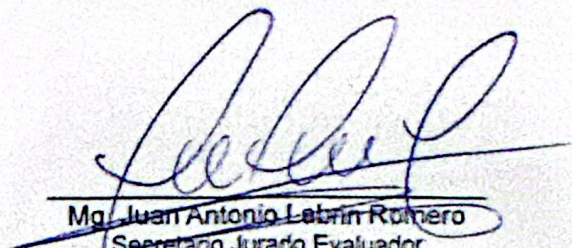
(f) Aprobar () Desaprobar (Y) Unanimidad () Mayoría

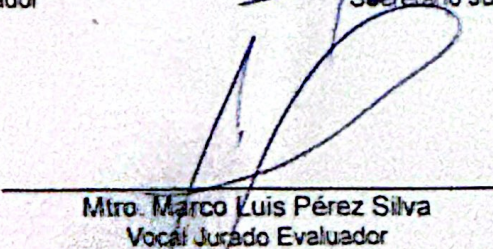
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (<u>15</u>) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 15:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Mg. José Andrés Fernández Mera
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario Jurado Evaluador


Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador

“Nombre del Año”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, eyler mejía villalobos, egresado de la carrera Profesional de ingeniería mecánica y eléctrica de la Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 73949986

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“prototipo de un sistema de carga de baterías con energía fotovoltaicas en el laboratorio de física de la UNJ”.

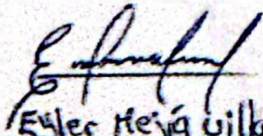
Asesorado por Freddi roland Rodríguez Ordoñez .

El mismo que presento bajo la modalidad de sustentación de tesis para optar; el Título Profesional de ingeniero mecánico electricista

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 14, abril del 2026.


Eyleer Mejía Villalobos
Nombre Firma y huella del autor.

"Nombre del Año"

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Kessley Mejía Villalobos, egresado de la carrera Profesional de ingeniería mecánica y eléctrica de la Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 73949987

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

"prototipo de un sistema de carga de baterías con energía fotovoltaicas en el laboratorio de física de la UNJ".

Asesorado por Freddi roland Rodríguez Ordoñez .

El mismo que presento bajo la modalidad de sustentación de tesis para optar; el Título Profesional de ingeniero mecánico electricista

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 14, abril del 2026.



Nombre Firma y huella del autor.

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Antecedentes	9
1.1.1 A nivel internacional.	9
1.1.2 A nivel nacional.	11
1.1.3 A nivel local	13
1.2 Planteamiento del Problema.....	14
Formulación del problema	15
1.3 Justificación.....	15
1.3.1 Justificación Social:	15
1.3.2 Justificación Económica:	16
1.3.3 Justificación Ambiental:	16
1.3.4 Justificación Tecnológica:.....	16
1.4 Hipótesis.	17
1.5 Objetivos	17
1.5.1 Objetivo general	17
1.5.2 Objetivos específicos.....	17
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Población	20
Muestra.	20

Muestreo.....	20
Variables, operacionalización y definición conceptual y operacional	20
Operacionalización de variables y definición conceptual y operacional	21
III. RESULTADOS.....	68
IV. DISCUSIÓN.....	89
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
AGRADECIMIENTO	95
DEDICATORÍA	95
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Irradiancia solar promedio mensual en el año 2023 en la ciudad de Jaén, Perú.....	26
Tabla 2 Demanda energética diaria por tipo de batería en el laboratorio de Física	27
Tabla 3 Características técnicas de los paneles solares evaluados	31
Tabla 4 Comparación de tecnologías de controladores de carga solar	34
Tabla 5 Comparación de tecnologías de baterías para respaldo energético	36
Tabla 6 Comparación de placas de desarrollo Arduino evaluadas	41
Tabla 7 Especificaciones del Panel Solar Fotovoltaico	68
Tabla 8 Controlador de Carga Solar	69
Tabla 9 Sistema de Almacenamiento Energético	70
Tabla 10 Electrónica de Conversión y Distribución de Energía	71
Tabla 11 Sistema de control y automatización.....	73
Tabla 12 Parámetros de evaluación del sistema automatizado de carga	83
Tabla 13 Verificación de tensiones antes de las pruebas	84
Tabla 14 Resultados de carga (9:27–9:32 h).....	85
Tabla 15 Resultados de carga (9:41–9:47 h).....	86
Tabla 16 Carga de baterías de celular.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Laboratorio de Física de la UNJ.....	18
Figura 2 Realizando la revisión y sistematización de información para el desarrollo del proyecto de tesis.....	23
Figura 3 Procedimiento para la obtención de datos de irradiancia solar mediante la plataforma NASA POWER	25
Figura 4 Baterías recargables identificadas en el laboratorio de Física de la UNJ	28
Figura 5 Panel solar monocristalino de 40 W seleccionado para el prototipo	32
Figura 6 Soporte estructural fijo con inclinación de 15° para panel solar fotovoltaico	33
Figura 7 Controlador de carga solar PWM 10 A con pantalla LCD y puertos USB	35
Figura 8 Batería de plomo - ácido de 12 V y 25 Ah seleccionada para el prototipo	38
Figura 9 Buck Converter LM2596 integrado en el sistema	39
Figura 10 Fusible de protección entre la batería y el controlador de carga	40
Figura 11 Microcontrolador Arduino UNO integrado al sistema de carga fotovoltaico	42
Figura 12 Módulo de relés de 6 canales (5 V) integrado al sistema de conmutación automática	44
Figura 13 Módulo TP4056 con entrada USB-C conectado para la carga de una batería de ion-litio de 3.7 V	45

Figura 14 Conectores Dupont interconectando el Arduino UNO con el módulo de relés	46
Figura 15 Cable dúplex bicolor de calibre 18 AWG utilizado en el sistema.....	47
Figura 16 Porta batería de 9 V tipo clip utilizado en el sistema	48
Figura 17 Interruptor ON/OFF instalado en la línea de alimentación del sistema	49
Figura 18 Cinta eléctrica de PVC utilizada para el aislamiento de conexiones ...	50
Figura 19 Set de herramientas mini de 32 piezas (DEXTER).....	51
Figura 20 Organización inicial y modelado del prototipo automatizado de carga de baterías	53
Figura 21 Esquema eléctrico general del sistema de carga automatizado.....	54
Figura 22 Conexión del panel solar y batería al controlador de carga.....	55
Figura 23 Configuración del convertidor reductor Buck LM2596.....	57
Figura 24 Arduino UNO configurado para la gestión del sistema	58
Figura 25 Disposición de los módulos TP4056 y Boost para carga simultánea ..	59
Figura 26 Verificación del sistema durante la programación y ajustes finales.....	61
Figura 27 Montaje completo del prototipo de carga automatizada	62
Figura 28 Verificación de conexiones y mediciones previas a las pruebas	64
Figura 29 Baterías conectadas durante la prueba de carga controlada	66
Figura 30 Vista del sistema de carga durante la etapa de operación continua ...	67
Figura 31 Organización inicial y modelado del prototipo automatizado de carga de baterías	75
Figura 32 Esquema eléctrico general del sistema de carga automatizado.....	76
Figura 33 Conexión del panel solar y batería al controlador de carga.....	77
Figura 34 Configuración del convertidor reductor Buck LM2596.....	78
Figura 35 Arduino UNO configurado para la gestión del sistema	79

Figura 36	Disposición de los módulos TP4056 y Boost para carga simultánea ..	80
Figura 37	Verificación del sistema durante la programación y ajustes finales.....	81
Figura 38	Montaje completo del prototipo de carga automatizada	82
Figura 39	Comportamiento del voltaje durante la carga – Sesión 1	85
Figura 40	Comportamiento del voltaje durante la carga – Sesión 2	86
Figura 41	Carga de baterías de celular	88

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica, con el fin de optimizar la gestión energética y promover el uso de tecnologías renovables. Mediante una investigación descriptiva y proyectiva se determinaron los requerimientos técnicos del laboratorio, identificándose una demanda diaria de 80.10 Wh para la carga de baterías de 3.7 V y 9 V, la cual se ajustó a 100.13 Wh considerando pérdidas del sistema. Con base en la irradiancia promedio anual de 4.29 kWh/m²/día, se dimensionó e implementó un sistema compuesto por un panel solar de 40 W, un controlador PWM, una batería de 12 V y 25 Ah, convertidores DC-DC, módulos TP4056, un sistema de relés y un microcontrolador Arduino UNO. Los resultados cualitativos indicaron que el prototipo opera de manera estable, mantiene valores de carga dentro de rangos seguros y ejecuta la conmutación automática con precisión, garantizando un suministro continuo que supera la demanda energética diaria. Se concluye que el sistema es técnica y operativamente viable para su aplicación en cualquier entorno.

Palabras Clave: energía solar, carga de baterías, sistema fotovoltaico, prototipo educativo, sostenibilidad.

ABSTRACT

The present research aimed to develop an automated battery-charging system prototype powered by photovoltaic energy, with the purpose of optimizing energy management and promoting the use of renewable technologies. Through a descriptive and projective research approach, the technical requirements of the laboratory were determined, identifying a daily energy demand of 80.10 Wh for charging 3.7 V and 9 V batteries, which was adjusted to 100.13 Wh after considering system losses. Based on the annual average solar irradiance of 4.29 kWh/m²/day, a system was designed and implemented consisting of a 40 W solar panel, a PWM charge controller, a 12 V 25 Ah battery, DC-DC converters, TP4056 charging modules, a relay system, and an Arduino UNO microcontroller. Qualitative results indicated that the prototype operates stably, maintains charging values within safe ranges, and executes automatic switching accurately, ensuring continuous energy supply that exceeds the daily demand. It is concluded that the system is technically and operationally viable for application in any environment.

Keywords: solar energy, battery charging, photovoltaic system, educational prototype, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de energías renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica, ha aumentado de manera significativa debido a la urgente necesidad de reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero y promover sistemas energéticos sostenibles (IPCC, 2021; IRENA, 2020). La energía solar destaca por su disponibilidad, bajo impacto ambiental y aplicabilidad tanto en sistemas de gran escala como en entornos educativos, donde permite fortalecer competencias en electrónica, conversión energética y automatización. Diversas investigaciones han demostrado la viabilidad técnica de sistemas fotovoltaicos de bajo costo orientados al monitoreo, carga y control de baterías empleando microcontroladores como Arduino. Rodríguez y Woocay (2019) desarrollaron un sistema de adquisición de datos fotovoltaicos con una precisión de medición menor al 5 %, mientras que Acevedo Paredes (2019) y Rosales Pérez (2019) demostraron la efectividad de sistemas solares autónomos para aplicaciones domésticas y educativas.

Esta evidencia científica fundamenta el presente estudio, lo cual se puede corroborar en los antecedentes que se muestran a continuación, donde se analizan trabajos internacionales, nacionales y locales que validan la pertinencia de implementar prototipos fotovoltaicos en instituciones educativas.

1.1 Antecedentes

1.1.1 A nivel internacional.

México, Rodríguez y Woocay (2019) realizaron una investigación titulada "DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE BAJO COSTO BASADO EN ARDUINO-OCTAVE", cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de un sistema fotovoltaico de bajo costo en condiciones de operación normales en Ciudad Juárez, enfocándose en la influencia de la radiación solar y la temperatura en la generación de energía. Utilizando un método descriptivo de corte transversal, la población estuvo conformada por sistemas fotovoltaicos de bajo costo en la región. La técnica de adquisición de datos se basó en el monitoreo y control de sistemas fotovoltaicos, empleando un sistema que incluía sensores de

temperatura tipo K y de radiación solar, microcontrolador Arduino Mega2560, acondicionador de señal AD595, sensor de corriente ACS-712, divisor de tensión y módulo adaptador de tarjeta MicroSD junto con un circuito electrónico con filtros pasa bajas. Los resultados destacaron la precisión y exactitud del sistema de adquisición, con una variación no mayor al 5% en las mediciones, lo que demuestra su utilidad para estudiar sistemas fotovoltaicos. Además, el dispositivo diseñado es flexible, operando de forma aislada o en línea a través del puerto USB de una computadora; su evaluación se realizó con un sistema fotovoltaico aislado que incluía una celda monocristalina de 150 W, un controlador de carga y una batería de 12 V de ciclo profundo, evidenciando que es factible como adquirir de datos, proporcionando información confiable y precisa.

Ecuador, Acevedo Paredes (2019) llevó a cabo una investigación titulada "Prototipo de un Sistema Electrónico para el Ahorro de Energía Eléctrica en una Vivienda Rural Energía Solar Usando con Alimentación en Corriente Continua", cuyo objetivo general fue desarrollar un prototipo de sistema electrónico que permitiría el ahorro de energía eléctrica en viviendas rurales, aprovechando la energía solar con alimentación en corriente continua. El método empleado se basó en un enfoque descriptivo de corte transversal, con una población estudiada conformada por viviendas rurales en la región de Azogues, Ecuador. La técnica utilizada implicó la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de muestra, y los principales componentes del sistema incluyen un panel solar de 60W/18V, una batería de ciclo profundo de 12V/18Ah, un regulador de carga de 12V/5A, y un sistema electrónico de transferencia para control y selección de fuente, que permite mantener la iluminación en caso de agotación de la batería mediante el acceso a la red eléctrica convencional. Los resultados mostraron que este sistema facilita el acceso a energía en zonas rurales, promoviendo el ahorro y mejorando la calidad de vida.

Ecuador, Rosales Pérez (2019), realizó una investigación denominada "Diseño y Construcción de una Estación de Carga de Celulares mediante Paneles Solares Fotovoltaicos" cuyo objetivo general fue diseñar e implementar un sistema de carga de teléfonos celulares utilizando energía solar. El método utilizado fue descriptivo de corte transversal, y la investigación trabajó con una población compuesta por usuarios de teléfonos celulares. La técnica empleada fue la instalación de un sistema fotovoltaico, y el instrumento utilizado fue un panel solar de 12V y 30A con controlador de carga solar, un inversor DC/AC de 401-500W, baterías recargables de ácido de plomo selladas con gel de 12V. y 24Ah, y un tomacorriente con entradas USB de 2.1A. Entre los resultados se destacó la implementación exitosa de una estación de carga de celulares eficiente.

1.1.2 A nivel nacional.

En Perú, Armas y Cotrado (2023) realizó una investigación titulada "Diseño e Implementación de un Sistema Seguidor Solar para la Optimización de la Carga en un Acumulador de Energía Usando Paneles Solares". El objetivo principal de este estudio fue diseñar e implementar un sistema de seguimiento solar para optimizar la carga de acumuladores de energía mediante paneles fotovoltaicos. Para ello, se empleó la metodología del ciclo de vida de un producto y se utilizaron componentes como el servo motor TD-8130MG para el movimiento del sistema, el multímetro Fluke 375 para las mediciones de corriente y voltaje, sensores de voltaje, corriente y temperatura, y un módulo ESP32 como unidad de captación y procesamiento de datos. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema de seguimiento solar generó un 43 % más de energía en días soleados y un 27,18 % más en días parcialmente nublados en comparación con un panel solar estático.

En Perú, Presentación Mejía (2022) realizó una investigación denominada "Diseño e implementación del sistema de respaldo de energía eléctrica en un centro de operaciones de red en la provincia de Huancayo, departamento Junín, Perú", cuyo objetivo fue implementar un sistema de

respaldo de energía eléctrica para evitar la pérdida de información en el Centro de Operaciones de Red (NOC). El método empleado fue el diseño e implementación de un sistema de respaldo de energía, y la investigación trabajó con una población conformada por los equipos y dispositivos en el NOC. La técnica utilizada fue la instalación de un grupo electrógeno, un banco de baterías compuesto por baterías tubulares de GEL de 2V con un sistema de 24 celdas y un sistema rectificador que incluyó módulos Flatpack FP2 3000 HE y control mediante una unidad Smartpack Web/SNMP. El sistema de gestión Power Suite también fue instalado para el monitoreo y control remoto de los equipos. Entre los resultados obtenidos se logró implementar un sistema de respaldo con redundancia que garantiza el funcionamiento continuo del NOC durante cortes o fluctuaciones de energía eléctrica, además de dimensionar el grupo electrógeno y seleccionar equipos acordes a las normativas vigentes.

En Perú, San Miguel Caballa (2019), realizó una investigación denominada "Diseño de un cargador de baterías de 12 voltios haciendo uso de un panel fotovoltaico aplicado en zonas rurales", cuyo objetivo fue diseñar un cargador de baterías de 12 voltios utilizando un panel Fotovoltaico para aplicarlo en zonas rurales que no cuentan con electrificación pública y utilizan baterías de 12 voltios. Para ello, empleó componentes principales como el panel fotovoltaico, un controlador de paso de corriente, un oscilador PWM, un verificador de máximo voltaje de batería y una batería de 12 V. El método fue el diseño e implementación de un prototipo de cargador fotovoltaico; la investigación ha trabajado con la comunidad de Micaela Bastidas, ubicada al norte del departamento de Lima, como población de estudio. La técnica fue el análisis del índice de irradiación solar y la demanda energética promedio de los hogares y el instrumento las simulaciones del cargador. Entre sus resultados obtuvieron un diseño de cargador optimizado según las necesidades energéticas de los hogares, lo que permitiría la carga continua de las baterías, eliminando la dependencia de proveedores externos y prolongando la vida útil de las mismas.

Perú, Tamayo López (2019), realizó una investigación denominada "Diseño de un Cargador Solar para Atender la Demanda de Carga Eléctrica de Dispositivos Móviles en la Universidad Tecnológica del Perú – Filial Arequipa". El objetivo general de este estudio fue diseñar un cargador solar para satisfacer la demanda de carga eléctrica de dispositivos móviles en la Universidad Tecnológica del Perú en Arequipa. El método empleado fue de naturaleza descriptiva y de corte transversal. La población estudiada estuvo conformada por estudiantes universitarios. La técnica utilizada para la recolección de datos y la evaluación de la demanda fue la encuesta, y el instrumento empleado para la recolección de datos fue un cuestionario. Entre los componentes principales utilizados en el diseño del cargador solar se incluyeron un panel solar YINGLI SOLAR de 100W, una batería RITAR de 12V y 40Ah, un regulador de carga PROSTAR PC 2024L, un módulo de regulación de voltaje de 5V y 1A, y cables de calibre 14 AWG. Entre los resultados obtenidos, se destacan los siguientes: se proporciona información detallada sobre la demanda de carga de dispositivos móviles en la universidad y se presenta un diseño de un cargador solar para abordar esta demanda.

1.1.3 A nivel local

En Perú, Mancilla Altamirano & Pardo Pinedo (2020) realizaron una investigación denominada "Diseño a escala de sistema fotovoltaico con seguidor solar para carga de baterías de dispositivos portátiles en la UAP-Jaén", cuyo objetivo fue diseñar un sistema fotovoltaico con seguidor solar para cargar teléfonos móviles de trabajadores de la UAP-filial Jaén. El método incluyó el diseño y dimensionamiento de un prototipo a escala, considerando componentes como un panel solar de 250 W a 12 V, un regulador PWM de 12 A y 12 V, baterías de 12 V y 86 Ah, un inversor de 150 W y 12 V/220 V, motores paso a paso Nema 23, drivers para motores, un módulo RTC3231 y un controlador Arduino UNO. La investigación utilizó datos de radiación solar de la estación SENAMHI en Jaén y demandó la carga de dispositivos móviles en la UAP como población de estudio. La técnica fue el análisis de radiación solar, la observación y medición del prototipo, que incluyó componentes de protección y

estructuras mecánicas. Los resultados verificaron el funcionamiento del prototipo para orientar los paneles solares perpendicularmente a los rayos solares durante el día, optimizando la radiación solar para generación eléctrica.

1.2 Planteamiento del Problema

En los últimos años, el uso de energías renovables ha adquirido una importancia creciente debido a la necesidad de reducir la dependencia de fuentes fósiles, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un modelo energético sostenible (IPCC, 2021). Entre estas alternativas, la energía solar fotovoltaica destaca por su disponibilidad, eficiencia y capacidad de adaptación a diversos entornos, incluidos los educativos, donde su implementación contribuye a la reducción de la huella de carbono y al fortalecimiento de una cultura de sostenibilidad.

Sin embargo, el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ) no cuenta con sistemas que integren tecnologías de generación renovable para el funcionamiento de dispositivos y equipos didácticos. Esta carencia limita la realización de prácticas experimentales orientadas al análisis y operación de sistemas fotovoltaicos, lo que afecta el aprendizaje práctico relacionado con conversión energética, electrónica de potencia, automatización, monitoreo de variables eléctricas y control de procesos. Como consecuencia, los estudiantes disponen de menos oportunidades para desarrollar competencias técnicas actuales y altamente demandadas en el sector energético.

La falta de equipamiento basado en energías renovables se debe principalmente a la ausencia de infraestructura adecuada y a la inexistencia de proyectos que promuevan la integración de tecnologías limpias en los espacios de enseñanza (González et al., 2019). Esta situación limita la capacidad del laboratorio para implementar soluciones autosostenibles que, además de optimizar el uso de la energía, permitirían incorporar experiencias formativas alineadas con las tendencias modernas de ingeniería y transición energética.

Si esta problemática no se aborda, el Laboratorio de Física continuará rezagado en la adopción de innovaciones tecnológicas, perdiendo la

oportunidad de integrar sistemas fotovoltaicos como herramientas didácticas y reduciendo su potencial para contribuir al desarrollo de soluciones energéticas limpias dentro de la universidad. Esto no solo afecta el funcionamiento de los equipos, sino también la proyección institucional hacia una educación comprometida con la sostenibilidad y la eficiencia energética. En este contexto, la implementación de un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica permitiría introducir tecnología renovable en las prácticas de laboratorio, reducir el consumo de energía convencional y fortalecer el aprendizaje aplicado. Los indicadores de evaluación del proyecto incluyen la eficiencia energética del prototipo, su operatividad en condiciones reales y su integración efectiva en las actividades experimentales.

Formulación del problema

La interrogante que se deriva de lo planteado es el siguiente:

¿Es viable desarrollar un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica?

1.3 Justificación.

1.3.1 Justificación Social:

La incorporación de un prototipo de sistema de carga de baterías con energía fotovoltaica en el Laboratorio de Física de la UNJ contribuye directamente a la formación de estudiantes con conciencia ambiental y competencias orientadas a la sostenibilidad. El acceso a equipos basados en energías limpias permite que los estudiantes desarrollen actitudes responsables frente al uso de los recursos energéticos y comprendan el impacto social de las tecnologías renovables en las comunidades locales. Asimismo, fortalece las capacidades de los futuros profesionales para enfrentar problemáticas energéticas reales, promoviendo una educación inclusiva y alineada con las necesidades del desarrollo regional.

1.3.2 Justificación Económica:

Desde el punto de vista económico, la implementación del prototipo representa una alternativa de bajo costo para dotar al laboratorio de una fuente autónoma de energía destinada a prácticas didácticas. La energía solar, al ser renovable y gratuita, permite reducir la dependencia de la red eléctrica y, por ende, los gastos operativos institucionales. Además, el uso de componentes de bajo costo accesibles (como Arduino, módulos de control y paneles solares pequeños) facilita la replicabilidad del sistema y fomenta en los estudiantes la capacidad de diseñar soluciones eficientes y económicamente viables para distintos entornos, en concordancia con las tendencias actuales del mercado laboral.

1.3.3 Justificación Ambiental:

La propuesta posee una justificación ambiental, ya que promueve el uso de energía solar para la carga de baterías utilizadas en las prácticas de laboratorio. Esto contribuye a reducir la huella de carbono de la UNJ y refuerza su compromiso institucional con la sostenibilidad. El prototipo sirve además como una herramienta demostrativa que evidencia los beneficios ambientales de las energías renovables, generando interés en la comunidad universitaria y motivando la implementación de proyectos similares en otros espacios educativos. De esta manera, el proyecto aporta a la lucha contra el cambio climático mediante la adopción de tecnologías limpias y responsables.

1.3.4 Justificación Tecnológica:

La implementación del prototipo fortalece la formación en automatización, control y energías renovables, áreas fundamentales en la ingeniería moderna. El proyecto integra paneles solares, controladores de carga, sistemas de almacenamiento y un microcontrolador Arduino, lo cual brinda a los estudiantes la oportunidad de interactuar con hardware real, programar algoritmos de control, monitorear variables eléctricas y comprender el funcionamiento integral de un sistema energético autónomo. Este aprendizaje práctico es indispensable para desarrollar competencias

tecnológicas avanzadas, posicionando a la UNJ como una institución que fomenta la innovación y la formación aplicada en energías renovables.

1.4 Hipótesis.

Si se desarrolla un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica en el Laboratorio de Física de la UNJ, entonces será posible mejorar la eficiencia en el proceso de carga.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un prototipo de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica para el laboratorio de física de la Universidad Nacional de Jaén.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el diseño de un sistema de carga de baterías basado en energía fotovoltaica.
- Diseñar un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías que integre tecnologías de control y automatización.
- Construir y evaluar el rendimiento del prototipo mediante la realización de pruebas de funcionamiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Objeto de estudio:

El objeto de estudio se enfocó en analizar el desempeño técnico de un prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica, implementado en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ). La evaluación consideró aspectos como la eficiencia del proceso de carga, la estabilidad del suministro energético y la capacidad del sistema para operar en condiciones reales de práctica académica. Asimismo, se examinó su utilidad educativa como recurso para fortalecer competencias en energías renovables, electrónica de control y automatización.

Ubicación del área de estudio:

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Física de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), ubicado en la carretera Jaén – San Ignacio, km 24, distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, Perú. Esta ubicación fue seleccionada debido a su relevancia en la formación experimental de los estudiantes y a la necesidad identificada de incorporar tecnologías de generación renovable en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Figura 1

Ubicación del Laboratorio de Física de la UNJ



Nota. El laboratorio constituye el espacio donde se instaló y evaluó el prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica.

Método

La metodología empleada en esta investigación fue de carácter descriptivo y proyectivo, orientada a analizar detalladamente los componentes, características técnicas y criterios de diseño necesarios para desarrollar un prototipo automatizado de un sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica. Asimismo, permitió proyectar su aplicación práctica en el contexto del Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), integrando tecnologías de automatización y control mediante microcontroladores Arduino. Este enfoque combinó el estudio técnico del sistema con la verificación de su viabilidad operativa en condiciones reales de uso.

Técnica

La técnica principal utilizada fue el análisis documental y técnico, mediante la revisión de literatura científica especializada, manuales de componentes electrónicos, normativas, y documentos técnicos relacionados con sistemas fotovoltaicos y automatización. Este proceso permitió fundamentar las decisiones de selección de componentes, definir los parámetros de operación del prototipo y garantizar que el diseño cumpliera criterios técnicos adecuados para su implementación en un entorno real. Complementariamente, se empleó la observación directa durante el ensamblaje y prueba del sistema para validar su comportamiento en situaciones reales.

Diseño de investigación.

El diseño de la investigación fue de tipo no experimental, dado que no se manipularon deliberadamente variables en un entorno controlado, sino que se analizaron y evaluaron en su estado natural dentro del laboratorio. Se trabajó con condiciones reales de irradiancia, demanda energética y uso didáctico del espacio. El estudio se centró en la observación, medición, diseño y validación del prototipo, a través de pruebas experimentales que permitieron analizar su eficiencia y funcionamiento sin alterar los factores ambientales o operativos del entorno.

Tipo de Investigación.

La investigación se clasificó como descriptiva y proyectiva. Fue descriptiva porque permitió caracterizar con precisión los elementos técnicos del sistema fotovoltaico, tales como irradiancia, eficiencia energética, capacidad de almacenamiento,

electrónica de control y compatibilidad entre componentes. A su vez, fue proyectiva porque planteó el desarrollo e implementación de un prototipo funcional orientado a mejorar las actividades académicas del Laboratorio de Física mediante el uso de energías renovables y tecnologías de automatización.

Población, Muestra y muestro

Población

La población estuvo conformada por todas las baterías recargables utilizadas en las prácticas experimentales del Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ). Estas baterías son empleadas por los estudiantes en actividades relacionadas con circuitos eléctricos, mediciones, sensores y dispositivos de bajo voltaje, y representan la demanda real de energía que el sistema fotovoltaico debe cubrir.

Muestra.

La muestra estuvo constituida por 10 baterías representativo de baterías de bajo voltaje utilizadas con mayor frecuencia en el laboratorio, específicamente: 5 Baterías de celulares y 5 Baterías recargables de 9 V, usadas en prácticas de las materias física.

Muestreo.

El muestreo empleado fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que las unidades seleccionadas pertenecen al equipamiento disponible en el laboratorio y cumplen con las características técnicas necesarias para el diseño y evaluación del prototipo. Este tipo de muestreo resulta pertinente en investigaciones aplicadas de ingeniería, donde la selección depende de la funcionalidad y relevancia de los dispositivos dentro del entorno académico.

Variables, operacionalización y definición conceptual y operacional

Variable independiente (VI).

Desarrollo del sistema automatizado de carga de baterías basado en energía fotovoltaica.

Variable dependiente (VD).

Desempeño del sistema de carga de baterías en términos de capacidad operativa.

Operacionalización de variables y definición conceptual y operacional

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Desarrollo del sistema automatizado de carga de baterías basado en energía fotovoltaica	Proceso técnico mediante el cual se diseña, implementa y automatiza un sistema capaz de convertir energía solar en energía eléctrica útil para la carga de baterías.	Conjunto de actividades de diseño electrónico, integración de panel fotovoltaico, controlador, microcontrolador y módulos de regulación para obtener un prototipo funcional y automatizado.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño técnico - Integración de componentes - Automatización y control 	<ul style="list-style-type: none"> - Diagrama eléctrico completo - Funcionamiento del microcontrolador en la gestión del sistema - Nivel de automatización alcanzado
Desempeño del sistema de carga de baterías en términos de capacidad operativa	Resultado del funcionamiento del prototipo en relación con su habilidad para cargar baterías de manera eficiente, estable y continua bajo condiciones reales.	Medición del rendimiento del sistema mediante pruebas experimentales que determinen su eficiencia energética, estabilidad y capacidad de suministro.	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia del sistema - Estabilidad operativa - Capacidad de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de carga (%) - Variación de voltaje durante operación (V) - Corriente promedio de carga (A) - Tiempo requerido para cargar las baterías (min) - Energía suministrada diariamente (Wh)

Procedimiento:

- **Determinación de los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el diseño de un sistema de carga de baterías basado en energía fotovoltaica.**

Revisión Bibliográfica

Como etapa inicial, se realizó una revisión bibliográfica orientada al análisis de sistemas de carga de baterías alimentados por energía fotovoltaica, con el propósito de establecer un sustento teórico sólido para el diseño del prototipo. Esta revisión incluyó artículos científicos, tesis, manuales técnicos y documentos especializados sobre sistemas fotovoltaicos y automatización, permitiendo identificar aspectos clave como la eficiencia de conversión energética, el funcionamiento e integración de controladores de carga, las características eléctricas de las baterías de bajo voltaje, y los elementos de protección y monitoreo necesarios para garantizar la estabilidad del sistema. Asimismo, se analizaron tendencias actuales de automatización mediante microcontroladores, especialmente su aplicación en proyectos de pequeña escala. En conjunto, esta revisión proporcionó los criterios técnicos y parámetros de diseño que orientaron la selección de componentes y las decisiones metodológicas del proyecto, asegurando la viabilidad del sistema propuesto para su implementación.

Identificación y Documentación de Requisitos Técnicos

Posteriormente, con base en los antecedentes teóricos y en el análisis de los objetivos del proyecto, se procedió a identificar y documentar los requisitos técnicos y funcionales necesarios para el diseño del sistema de carga de baterías basado en energía fotovoltaica. Esta etapa permitió establecer las especificaciones operativas esenciales para el adecuado dimensionamiento e integración de los componentes del sistema, considerando criterios de eficiencia, capacidad de suministro, estabilidad del proceso de carga y compatibilidad electrónica. Los requerimientos técnicos documentados

incluyeron la disponibilidad de irradiancia solar en la zona de estudio, las características eléctricas de las baterías empleadas en el laboratorio, la selección del panel fotovoltaico y del controlador de carga, el cálculo del almacenamiento energético, así como los parámetros necesarios para la automatización mediante microcontrolador. Estos elementos constituyeron la base técnica para garantizar el funcionamiento adecuado y la viabilidad del prototipo en el contexto real.

Figura 2

Realizando la revisión y sistematización de información para el desarrollo del proyecto de tesis



Nota. Imagen propia que muestra durante el proceso de análisis documental y elaboración metodológica del proyecto de investigación.

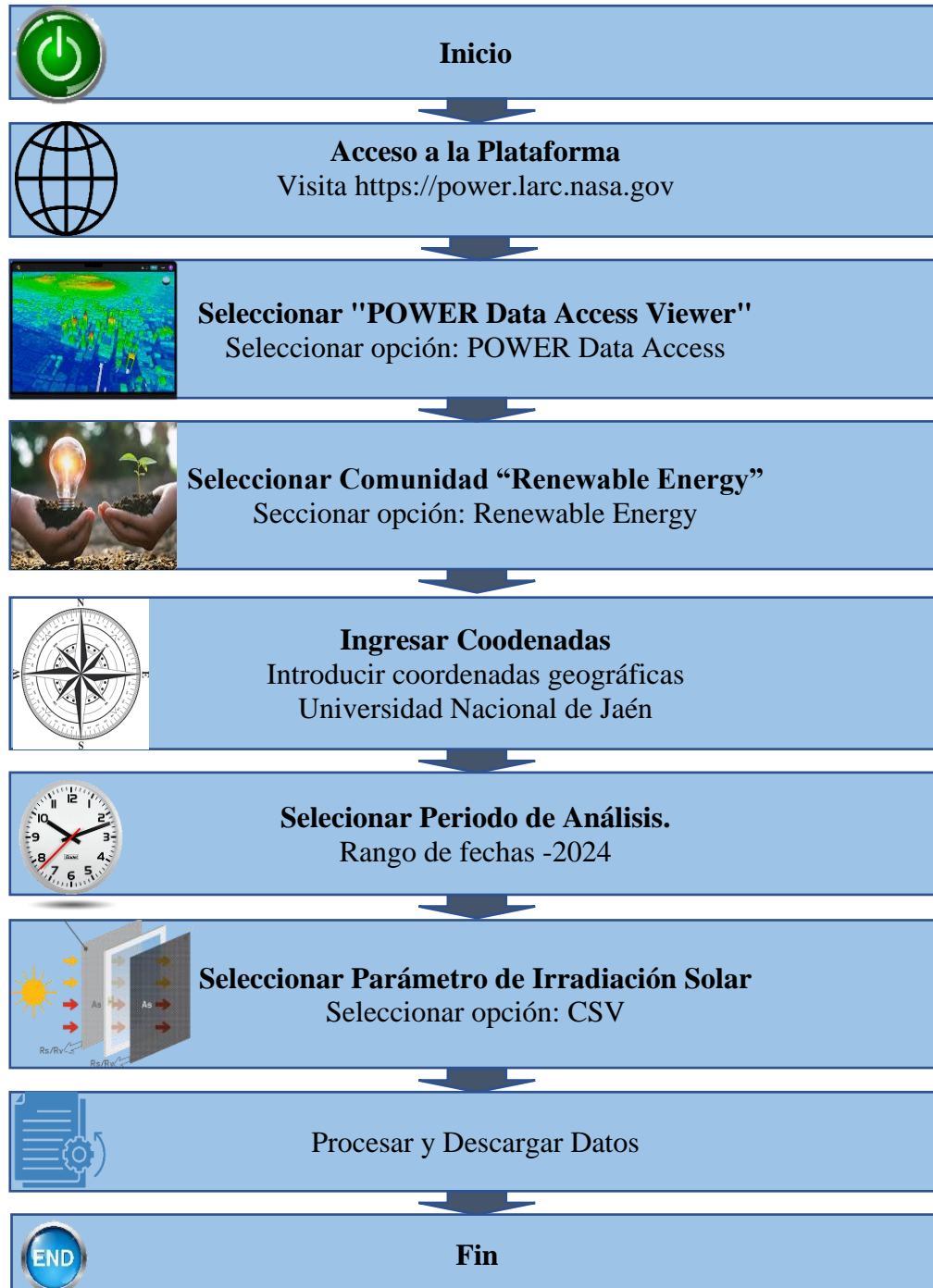
Determinación de la intensidad de la radiación solar

Para determinar la intensidad de la radiación solar disponible en la zona de estudio, se utilizó el Data Access Viewer (DAV) del proyecto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) de la NASA, disponible en <https://power.larc.nasa.gov>. Esta plataforma proporciona información satelital validada sobre parámetros solares y meteorológicos, lo que constituye una herramienta fundamental para el análisis, dimensionamiento y evaluación de sistemas fotovoltaicos. Su precisión y accesibilidad permiten obtener estimaciones mensuales y anuales de irradiancia para ubicaciones específicas, lo que facilita el cálculo del potencial energético solar que es necesario para el diseño del prototipo. El procedimiento seguido para la obtención de datos se representa en la Figura 3.

-

Figura 3

Procedimiento para la obtención de datos de irradiancia solar mediante la plataforma NASA POWER



Nota. Elaboración propia basada en el uso del visor de datos del proyecto NASA/POWER (<https://power.larc.nasa.gov>).

La Tabla 1 muestra los valores mensuales promedio de irradiancia solar descendente registrados durante el año 2023 en la ciudad de Jaén, Cajamarca. Esta información permitió analizar la disponibilidad energética de la zona y fundamentar el cálculo de la viabilidad del sistema automatizado de carga de baterías propuesto.

Tabla 1
Irradiancia solar promedio mensual en el año 2023 en la ciudad de Jaén, Perú

Mes	Irradiancia (kWh/m²/día)
Enero	4.46
Febrero	3.42
Marzo	4.25
Abril	3.88
Mayo	3.98
Junio	3.8
Julio	4.21
Agosto	4.85
Septiembre	4.99
Octubre	5.11
Noviembre	4.73
Diciembre	3.8
Anual	4.29

Nota. Los datos corresponden a la irradiancia solar diario promedio bajo todas las condiciones del cielo.

Los resultados evidencian que la irradiancia solar en Jaén presentó variaciones entre 3.42 kWh/m²/día en febrero y 5.11 kWh/m²/día en octubre, alcanzando un promedio anual de 4.29 kWh/m²/día. Este nivel de radiación solar se considera adecuado para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Identificación de las baterías a cargar en el laboratorio de Física

Como parte del diseño del prototipo de un sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica, se identificaron las fuentes de demanda energética presentes en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén, con el fin de dimensionar adecuadamente la capacidad de carga que el sistema deberá cubrir. Durante la revisión del equipamiento, se verificó que cada sesión académica se organiza en seis (6) grupos de trabajo conformados por cuatro (4) estudiantes, requiriéndose al menos una batería por grupo para el desarrollo de prácticas en asignaturas como Física General, Electricidad y Magnetismo, así como en actividades aplicadas que involucran sensores, microcontroladores y dispositivos de medición. En este contexto, se determinaron dos tipos de baterías recargables de uso frecuente, cuya selección responde a su disponibilidad, utilización recurrente y compatibilidad con las necesidades didácticas del laboratorio. A continuación, se describen sus principales características técnicas.

Tabla 2

Demanda energética diaria por tipo de batería en el laboratorio de Física

Tipo de batería	Cantidad	Voltaje (V)	Capacidad (Ah)	Energía por unidad (Wh)	Energía total diaria (Wh)
Celular	6	3.7	3	11.1	66.6
Batería recargable 9 V	6	9	0.25	2.25	11.25
Total, diario estimado					80.10

Nota. La energía por unidad se estimó utilizando la fórmula $E=V \times Ah$. No se han considerado aún las pérdidas por eficiencia del sistema.

La demanda energética reflejada en la Tabla 2 corresponde a un total de 80.10 Wh diarios, representando el consumo mínimo que el sistema fotovoltaico debe ser capaz de abastecer para garantizar la recarga completa de las doce baterías utilizadas. La reposición total de esta energía es fundamental para validar la operatividad del prototipo en condiciones reales de uso, asegurando la continuidad de las prácticas experimentales y promoviendo una estrategia de autosuficiencia energética dentro del laboratorio.

Figura 4

Baterías recargables identificadas en el laboratorio de Física de la UNJ



Nota. La imagen presenta los dos tipos de baterías recargables utilizadas en las sesiones prácticas del Laboratorio de Física: una batería de polímero de litio (Li-Po) de 3.7 V y 3 Ah (izquierda) y una batería recargable de níquel e hidruro metálico (Ni-MH) de 9 V y 250 mAh (derecha). Ambas fueron consideradas como referencia para el dimensionamiento energético del sistema automatizado de carga fotovoltaico propuesto.

Cálculo de la demanda energética ajustada considerando pérdidas del sistema

La estimación de la demanda energética diaria que debe cubrir el sistema fotovoltaico considera no solo la energía requerida para la recarga de las baterías identificadas en el laboratorio, sino también las pérdidas inherentes al proceso de conversión, regulación y distribución de la energía. Estas pérdidas se presentan en distintos componentes del sistema, como el regulador de carga (PWM o MPPT), cuya eficiencia típica oscila entre 85 % y 98 %; el cableado interno, donde se generan pérdidas por efecto Joule; las conexiones y terminales, que pueden provocar caídas de tensión; y el proceso real de conversión fotovoltaica, afectado por factores ambientales como temperatura, acumulación de polvo, orientación y posibles sombras sobre el panel. Considerando estos elementos, se adoptó una eficiencia global estimada del 80 %, lo que implica que aproximadamente el 20 % de la energía generada se pierde antes de llegar al sistema de almacenamiento. Con esta eficiencia, se ajusta la demanda energética bruta previamente calculada para las seis baterías de celular y las seis baterías recargables de 9 V, que corresponde a 80.1 Wh/día.

El cálculo de la demanda energética ajustada se realiza mediante la siguiente relación:

$$\text{Demanda ajustada (Wh/día)} = \frac{\text{Demanda bruta (Wh/día)}}{\text{Eficiencia del prototipo}}$$

$$\text{Demanda ajustada (Wh/día)} = \frac{80.1}{0.80}$$

$$\text{Demanda ajustada (Wh/día)} = 100.13 \text{ Wh/día}$$

Este valor representa la cantidad mínima de energía que el sistema fotovoltaico debe generar diariamente para garantizar la recarga completa de las baterías, compensando las pérdidas energéticas identificadas. En consecuencia, constituye la base para el dimensionamiento del panel fotovoltaico y demás componentes del prototipo, asegurando su autonomía y operatividad bajo las condiciones reales del Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén.

Dimensionamiento del panel solar fotovoltaico

A partir de la demanda energética diaria ajustada, estimada en 100.13 Wh/día, se procedió al dimensionamiento del panel solar necesario para garantizar el suministro de energía requerido por el sistema de carga de baterías. Para este cálculo se consideró la irradiancia solar promedio anual de la ciudad de Jaén, cuyo valor es de 4.29 kWh/m²/día, obtenida a partir de los datos proporcionados por la plataforma NASA/POWER. Asimismo, se adoptó una eficiencia fotovoltaica promedio del 18 % para el módulo seleccionado, valor acorde con paneles solares monocristalinos de pequeña escala.

La energía diaria que puede generar un metro cuadrado de panel fotovoltaico se estimó mediante la siguiente expresión:

$$E_{módulo} = G \times 1000 \times \eta$$

Donde:

$E_{módulo}$ es la energía diaria generada por 1 m² de panel (Wh/día)

G es la irradiancia solar promedio diaria (kWh/m²/día)

η es la eficiencia del panel fotovoltaico

Sustituyendo los valores

$$E_{módulo} = 4.29 \times 1000 \times 0.18 = 772.2 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$$

El área mínimo requerida del panel para cubrir la demanda energética ajustada se calculó de la siguiente manera:

$$A_{min} = \frac{E_{demanda}}{E_{módulo}} = \frac{100.13}{772.2}$$

$$A_{min} = 0.13 \text{ m}^2$$

Este resultado indica que, bajo condiciones promedio de irradiancia, una superficie fotovoltaica de aproximadamente 0.13 m² con una eficiencia del 18 % sería suficiente para cubrir la demanda energética diaria del sistema. No obstante, con el fin de disponer de un margen de seguridad frente a variaciones de irradiancia, posibles pérdidas adicionales y condiciones climáticas no ideales, se optó por emplear un panel comercial de mayor superficie y potencia nominal, cuya selección se detalla en el apartado de selección del panel solar.

Selección del panel solar

Tras determinar que el sistema requiere generar un mínimo de 100.13 Wh/día, y considerando que la superficie mínima estimada del panel es de 0.13 m², se procedió a seleccionar un módulo fotovoltaico comercial que garantice una producción energética suficiente incluso bajo condiciones ambientales variables. Para ello, se analizaron alternativas de paneles monocristalinos de pequeña escala, debido a su mayor eficiencia (17 %–22 %) frente a los paneles policristalinos y amorfos, lo que los hace más apropiados para aplicaciones educativas y prototipos compactos.

Tabla 3

Características técnicas de los paneles solares evaluados

N.º	Tipo de panel	Eficiencia (%)	Tamaño aproximado (m ²)	Potencia nominal (W)	Características destacadas
1	Monocristalino	18 – 21	0.6 – 1.7	40 – 450	Alta eficiencia y buen rendimiento en baja irradiancia. Más costoso. Costo moderado,
2	Policristalino	16 – 18	0.65 – 1.6	40 – 400	menor eficiencia que el monocristalino. Portátiles, ligeros, pero
3	Panel flexible (CIGS o amorfo)	10 – 13	0.5 – 1.0	20 – 100	menos eficientes. Adecuados para usos móviles. Utilizados para
4	Mini panel didáctico	10 – 15	0.05 – 0.15	5 – 20	finos educativos o en prototipos de baja demanda.

Nota. La energía por unidad se estimó utilizando la fórmula $E = V \times Ah$. No se han considerado aún las pérdidas por eficiencia del sistema.

Con base en la disponibilidad en el mercado y los requerimientos del sistema, se seleccionó un panel solar monocristalino de 40 W de potencia nominal, capaz de entregar un voltaje estándar de operación de 18 V y una corriente aproximada de 2.3 A en condiciones óptimas. Este tipo de panel puede generar entre 120 Wh/día y 200 Wh/día, dependiendo de la irradiancia diaria, lo cual se encuentra alineado con la demanda energética ajustada del prototipo, estimada en 100.13 Wh/día. Además, su potencia permite trabajar con un margen de seguridad frente a pérdidas adicionales no consideradas, como acumulación de polvo, variación del ángulo de incidencia o días parcialmente nublados.

Figura 5

Panel solar monocristalino de 40 W seleccionado para el prototipo



Nota. Panel solar monocristalino de 40 W, 18 V, con eficiencia del 18.43 %, dimensiones de 650 x 505 x 25 mm y peso de 3.7 kg.

Soporte estructural del panel solar

Para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico, se adquirió el soporte estructural regulable para el panel solar, con el objetivo de mantenerlo correctamente orientado y asegurado en la azotea del pabellón de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Esta estructura permite una instalación estable, segura y con la inclinación óptima para maximizar la captación de radiación solar.

La inclinación del panel fue fijada a un ángulo de aproximadamente 15° , en función de la latitud de la ciudad de Jaén y de la necesidad de simplificar el montaje para fines educativos. Este ángulo permite un compromiso entre eficiencia anual de captación y facilidad de implementación en espacios reducidos.

El soporte también contempla la posibilidad de ser reubicado o reorientado manualmente si se desea realizar prácticas demostrativas con diferentes ángulos de incidencia solar, lo cual refuerza su valor didáctico. Su diseño compacto y liviano facilita su integración sobre mesas de trabajo.

Figura 6

Soporte estructural fijo con inclinación de 15° para panel solar fotovoltaico



Nota. Panel solar monocristalino de 40 W montado sobre una estructura metálica inclinada a 15° , diseñada para optimizar la captación solar según la latitud de la ciudad de Jaén. Esta inclinación permite estabilidad estructural y eficiencia energética en contextos educativos como el Laboratorio de Física de la UNJ.

Selección del controlador de carga

El controlador de carga es un componente esencial dentro de un sistema fotovoltaico, ya que se encarga de regular el flujo de energía entre el panel solar y la batería de respaldo, evitando condiciones de sobrecarga, descarga profunda o fluctuaciones eléctricas que puedan comprometer la vida útil del sistema. Para su adecuada selección se consideraron parámetros como la corriente máxima suministrada por el panel solar de 40 W (aprox. 2.3 A), el voltaje nominal del sistema (12 V) y la compatibilidad general con las baterías empleadas en el laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén.

Con el fin de comparar alternativas disponibles, se evaluaron dos tecnologías comunes de controladores de carga: PWM y MPPT. La Tabla 4 muestra las diferencias principales observadas en términos de eficiencia, costo relativo y aplicaciones recomendadas.

Tabla 4

Comparación de tecnologías de controladores de carga solar

Tipo de controlador	Eficiencia promedio	Costo relativo	Recomendado para
PWM	75–85 %	Bajo	Sistemas pequeños, presupuestos limitados
MPPT	95–98 %	Medio–alto	Sistemas que requieren alta eficiencia y mayor energía aprovechada

Nota. Elaboración propia en base a características técnicas estándar de controladores de carga disponibles en el mercado solar. La eficiencia puede variar según condiciones de irradiancia, temperatura y calidad del regulador.

Tras la evaluación técnica, se seleccionó un controlador de carga solar PWM de 10 A y 12/24 V, modelo ampliamente utilizado en sistemas fotovoltaicos de pequeña escala debido a su bajo costo, facilidad de integración y adecuada capacidad para manejar la energía generada por el panel seleccionado. Este tipo

de controlador permite proteger la batería frente a sobrecargas, descargas profundas y cortocircuitos, garantizando así la estabilidad operativa del prototipo. Además, el controlador mostrado cuenta con una pantalla LCD para el monitoreo de parámetros eléctricos, tales como voltaje del sistema, corriente de carga y estado de la batería, lo que facilita las actividades de supervisión y enseñanza en el laboratorio. También incorpora puertos USB, los cuales permiten realizar cargas directas de dispositivos electrónicos, ampliando su versatilidad en entornos académicos.

A continuación, se presenta la imagen del controlador utilizado en el prototipo.

Figura 7

Controlador de carga solar PWM 10 A con pantalla LCD y puertos USB



Nota. Controlador de carga solar PWM de 10 A, compatible con sistemas de 12 V y 24 V. El modelo incluye una pantalla LCD para visualización de parámetros eléctricos y dos puertos USB para la carga de dispositivos. Imagen referencial del controlador empleado en el prototipo desarrollado en el Laboratorio de Física de la UNJ.

Selección de la batería de respaldo

La selección de la batería de respaldo para el prototipo del sistema de carga de baterías con energía fotovoltaica fue un aspecto fundamental para garantizar la autonomía del sistema durante periodos sin radiación solar, tales como horarios nocturnos, condiciones climáticas desfavorables o momentos de alta demanda energética dentro del laboratorio. Para esta elección se analizaron criterios relacionados con la demanda energética diaria ajustada del prototipo (100.13 Wh/día), la eficiencia del sistema fotovoltaico (80 %) y la necesidad de asegurar un funcionamiento continuo en un entorno educativo.

Se evaluaron diferentes tecnologías de almacenamiento energético disponibles en el mercado, considerando parámetros como el voltaje nominal, capacidad en amperioshora (Ah), energía total disponible (Wh), vida útil, mantenimiento requerido y compatibilidad con sistemas fotovoltaicos de baja potencia. La Tabla 5 presenta la comparación entre las opciones técnicas analizadas.

Tabla 5

Comparación de tecnologías de baterías para respaldo energético

N.º	Tipo de batería	Voltaje nominal (V)	Capacidad (Ah)	Energía total (Wh)	Características destacadas
1	Batería de plomo-ácido GEL	12	9	108	Libre de mantenimiento, segura y estable.
2	Batería AGM	12	7	84	Económica, menor vida útil que la Gel.
3	Batería de ion de litio	11.1	8	88.8	Alta densidad energética, mayor costo.

4	Batería NiMH portátil	9.6	5	48	Ligera y portátil, baja capacidad.
5	Batería de plomo-ácido CAFINI (Seleccionada)	12	25	300	Alta robustez, excelente autonomía, adecuada para sistemas solares educativos.

Nota. Elaboración propia en base a características técnicas estándar de baterías disponibles en el mercado. La energía total se calculó utilizando la fórmula $E=V \times Ah$

Tras el análisis comparativo, se seleccionó una batería de plomo - ácido de 12 V y 25 Ah, modelo CAFÍNI CN-DC2620QS, cuya energía total es:

$$E = 12 \times 25$$

$$E = 300 \text{ Wh}$$

Esta capacidad supera ampliamente la demanda energética diaria del prototipo (100.13 Wh/día), proporcionando un margen de seguridad para compensar pérdidas no previstas, fluctuaciones en la irradiancia solar o requerimientos energéticos adicionales durante las prácticas de laboratorio. Además, su tecnología basada en plomo-ácido ofrece alta durabilidad, tolerancia a descargas profundas y facilidad de integración con controladores de carga PWM, lo que la convierte en una opción adecuada para entornos educativos donde la estabilidad y resistencia son prioritarias.

Figura 8

Batería de plomo - ácido de 12 V y 25 Ah seleccionada para el prototipo



Nota. Batería CAFINI modelo CN-DC2620QS, de 12 V y 25 Ah, utilizada como respaldo energético en el sistema fotovoltaico del prototipo. Su capacidad de 300 Wh permite asegurar autonomía suficiente para las operaciones de carga realizadas en el laboratorio.

Buck Converter para alimentación de bajo voltaje

Con el propósito de adaptar el voltaje del sistema fotovoltaico a los requerimientos operativos de los módulos electrónicos, se integró un convertidor reductor DC-DC basado en el regulador LM2596. Este módulo recibe los 12 V provenientes del controlador de carga solar y los convierte de manera eficiente en un voltaje estable de 5 V, indispensable para la alimentación del microcontrolador Arduino UNO y de los módulos de carga TP4056, relés y convertidores adicionales mostrados en el esquema.

El LM2596 opera mediante un sistema de conmutación que reduce significativamente las pérdidas por disipación térmica, garantizando una conversión de energía más eficiente que los reguladores lineales. Su potenciómetro de ajuste permite calibrar con precisión el voltaje de salida, mientras que su diseño compacto facilita su integración en el prototipo.

En el sistema representado en el diagrama, el Buck Converter se ubica entre la batería de 12 V y los módulos electrónicos, asegurando que todos los componentes sensibles reciban una alimentación estable incluso bajo condiciones variables de carga. Desde el punto de vista educativo, su inclusión permite a los estudiantes analizar el funcionamiento real de un convertidor DC-DC dentro de un sistema fotovoltaico autónomo.

Figura 9

Buck Converter LM2596 integrado en el sistema



Nota. Módulo reductor de voltaje LM2596, utilizado para obtener una salida regulada de 5 V a partir de los 12 V provenientes del banco de baterías, permitiendo una alimentación segura y estable de los componentes electrónicos del sistema.

Fusible de protección entre la batería y el controlador

Con el fin de garantizar la seguridad eléctrica del prototipo de sistema de carga de baterías con energía fotovoltaica implementado en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), se incorporó un fusible de protección en serie con la línea positiva que conecta la batería de respaldo al controlador de carga. Esta medida preventiva permite evitar daños provocados por eventuales cortocircuitos, sobrecorrientes o errores de conexión que puedan ocurrir durante el funcionamiento del sistema.

El fusible actúa como un dispositivo de desconexión automática, abriéndose cuando la corriente excede el valor límite permitido. Al interrumpir el flujo de energía en condiciones de falla, protege los componentes críticos como el controlador de carga, la batería y el cableado, mitigando riesgos frecuentes en sistemas fotovoltaicos de baja tensión, donde los arcos eléctricos pueden mantenerse de forma continua si no se cuenta con un elemento de protección adecuado.

Para este prototipo se seleccionó un fusible de acción rápida de 10 A, instalado dentro de un portafusible aislado y accesible. El valor nominal del fusible fue determinado considerando la corriente máxima estimada del sistema (aprox. 2.5 A desde el panel y márgenes de operación del controlador), añadiendo un factor de seguridad para garantizar un funcionamiento confiable sin disparos innecesarios. Su ubicación estratégica facilita la inspección, mantenimiento y reemplazo cuando sea necesario.

La integración del fusible complementa el conjunto de protecciones eléctricas del sistema, fortaleciendo su confiabilidad y cumpliendo con las buenas prácticas recomendadas en instalaciones de energía renovable autónomas, especialmente en contextos educativos donde la seguridad operativa constituye una prioridad.

Figura 10

Fusible de protección entre la batería y el controlador de carga



Nota. El fusible, ubicado en la línea positiva entre la batería y el controlador, actúa como elemento de seguridad para prevenir daños por sobrecorrientes o cortocircuitos. Se seleccionó un fusible de 10 A para adaptarse al flujo de corriente estimado del sistema.

Selección del microcontrolador Arduino

La selección del microcontrolador fue un elemento clave para asegurar el control, monitoreo y automatización del prototipo de sistema de carga de baterías con energía fotovoltaica. El microcontrolador debía ser capaz de gestionar múltiples señales provenientes de sensores, activar de forma independiente los canales del módulo de relés y coordinar los procesos de carga de las baterías de 3.7 V y 9 V representados en el esquema del sistema. Por ello, se evaluaron diversas plataformas de desarrollo ampliamente utilizadas en entornos educativos, considerando criterios como número de pines de entrada/salida, facilidad de programación, disponibilidad de librerías, compatibilidad con módulos electrónicos y costo.

Este análisis resultó fundamental para asegurar una implementación, donde se requiere una plataforma robusta, versátil y didáctica que facilite la experimentación estudiantil y permita integrar de manera sencilla los elementos mostrados en el diagrama del sistema.

Tabla 6

Comparación de placas de desarrollo Arduino evaluadas

N.º	Modelo de placa Arduino	Microcontrolador	Entradas/salidas digitales	ADC (bits)	Memoria Flash	Características destacadas
1	Arduino UNO R3	ATmega328P	14 (6 PWM)	10	32 KB	Bajo costo, versátil, ideal para proyectos educativos.
2	Arduino Mega 2560	ATmega2560	54 (15 PWM)	10	256 KB	Adecuado para múltiples sensores o tareas complejas.
3	Arduino Nano	ATmega328P	14 (8 PWM)	10	32 KB	Compacto, útil para prototipos con poco espacio.
4	Arduino Due	SAM3X8E (ARM)	54 (12 PWM)	12	512 KB	Mayor capacidad de procesamiento; menos usado en educación básica.

Nota. Elaboración propia basada en especificaciones técnicas oficiales de placas Arduino. Se consideran versiones estándar disponibles para uso académico.

Tras el análisis comparativo y considerando los requerimientos del sistema — entre ellos la activación de los canales del módulo de relés, la lectura de sensores de voltaje y la supervisión de los cargadores TP4056 empleados en el prototipo— se seleccionó la placa Arduino UNO R3. Esta tarjeta proporciona un equilibrio óptimo entre funcionalidad, simplicidad y disponibilidad de pines digitales suficientes para controlar el módulo de relés mostrado en el esquema.

Además, la Arduino UNO R3 destaca por su amplia documentación, compatibilidad con numerosos módulos educativos y su sólida comunidad de soporte, lo cual facilita la replicación, mantenimiento y ampliación del prototipo dentro del entorno académico. Su integración en el sistema asegura un control confiable del proceso de carga, acorde con la arquitectura electrónica implementada en el laboratorio.

Figura 11

Microcontrolador Arduino UNO integrado al sistema de carga fotovoltaico



Nota. El Arduino UNO R3 se emplea como unidad de control del prototipo, gestionando la activación de los módulos de relés, supervisando el estado de carga a través de los cargadores TP4056 y recibiendo alimentación estable de 5 V proveniente del convertidor Buck LM2596. Su integración permite coordinar los procesos de carga y monitoreo del sistema fotovoltaico de manera eficiente y segura.

Módulos Relé (5V) para la conmutación automatizada de modos de carga

Con el objetivo de automatizar la selección entre los distintos modos de carga del prototipo fotovoltaico, se integró un módulo relé de 6 canales alimentado a 5 V, como se observa en la Figura 12. Este componente permite conmutar de manera controlada la energía hacia los distintos cargadores y convertidores del sistema, posibilitando la gestión simultánea de múltiples baterías de 3.7 V y 9 V, según la lógica programada en el microcontrolador Arduino UNO.

Desde el punto de vista técnico, cada uno de los relés actúa como un interruptor electromecánico capaz de abrir o cerrar circuitos independientes de mayor potencia mediante una señal lógica de 5 V proveniente del Arduino. El módulo mostrado en la imagen incorpora optoacopladores, lo que mejora el aislamiento eléctrico entre el microcontrolador y los circuitos de carga, incrementando la seguridad y evitando que perturbaciones provenientes de las líneas de potencia afecten el funcionamiento del sistema de control.

Además, los terminales de tornillo presentes en el módulo facilitan la conexión organizada y segura hacia los cargadores TP4056, los convertidores boost y otros módulos asociados al proceso de carga. Su diseño compacto y el uso de múltiples canales en una sola tarjeta permite realizar una gestión centralizada y eficiente de los flujos de energía, eliminando la necesidad de utilizar relés individuales.

Desde el enfoque educativo, la inclusión de un módulo de relés de 8 canales permite a los estudiantes comprender de manera integral el funcionamiento de sistemas de conmutación digital aplicados a sistemas autónomos de energía. Su uso promueve el aprendizaje de conceptos como gestión de cargas, aislamiento eléctrico, señales de control, automatización secuencial y programación aplicada al control energético.

La elección de este módulo se basó en su compatibilidad directa con niveles lógicos de 5 V, su capacidad para manejar corrientes de hasta 10 A por canal, y su facilidad de integración en prototipos académicos. En el sistema, cada canal del módulo fue conectado a un pin digital del Arduino, permitiendo el control individualizado de las rutas de carga según el estado operativo del prototipo.

Figura 12

Módulo de relés de 6 canales (5 V) integrado al sistema de conmutación automática



Nota. Módulo relé de 6 canales con optoacopladores y terminales de tornillo, utilizado para controlar de manera automatizada los distintos modos de carga del sistema fotovoltaico. Su conmutación digital permite alternar entre las rutas de energía según la programación del microcontrolador Arduino.

Módulos TP4056

Con el propósito de garantizar una carga segura, estable y controlada de las baterías de ion - litio de 3.7 V utilizadas en el prototipo, se incorporaron módulos cargadores TP4056 como unidades reguladoras independientes. Cada módulo se encarga de la gestión completa del proceso de carga de una celda individual, asegurando el cumplimiento de los parámetros eléctricos recomendados para este tipo de baterías y evitando riesgos asociados como sobrecarga, sobrecorriente o incremento de temperatura.

Desde el punto de vista técnico, el TP4056 es un controlador lineal de carga que opera bajo las etapas de corriente constante (CC) y voltaje constante (CV), regulando automáticamente el flujo energético en función del estado de la batería. El modelo mostrado en la Figura 13 incorpora un conector USB - C como entrada de alimentación, lo que facilita su integración y conexión en entornos educativos. Asimismo, posee indicadores LED que permiten visualizar el estado del proceso (cargando / carga completa) sin necesidad de instrumentación adicional.

Su arquitectura distribuida, un módulo por batería, ofrece una ventaja significativa dentro del sistema fotovoltaico, ya que permite que cada celda sea cargada de forma independiente según su nivel de descarga, evitando desbalances energéticos y garantizando un mayor control del sistema. Esto resulta particularmente útil en aplicaciones experimentales donde se cargan varias baterías simultáneamente.

Desde el enfoque formativo, el uso de módulos TP4056 brinda a los estudiantes la oportunidad de analizar en la práctica los principios de carga segura para baterías de ion - litio, el comportamiento del modo CC/CV, y la importancia de incorporar sistemas de protección dedicados en proyectos de energía renovable y electrónica aplicada.

Para el prototipo, se seleccionaron módulos TP4056 con entrada USB - C debido a su accesibilidad, facilidad de conexión y compatibilidad con la línea regulada de 5 V suministrada por el convertidor Buck LM2596 del sistema. Cada módulo fue asignado a un canal independiente, permitiendo una carga simultánea y controlada de múltiples celdas durante las pruebas y actividades.

Figura 13

Módulo TP4056 con entrada USB-C conectado para la carga de una batería de ion-litio de 3.7 V



Nota. Módulos Módulo TP4056 empleado para regular individualmente el proceso de carga de cada batería de ion-litio. Integra indicadores LED que permiten monitorear el estado de carga y cuenta con un puerto USB - C que facilita su conexión dentro del sistema.

Conectores Dupont para la interconexión modular del sistema

Para la interconexión de los distintos módulos del prototipo, principalmente el Arduino UNO y el módulo de relés de 6 canales, se utilizaron cables y conectores Dupont, debido a su facilidad de uso y compatibilidad con pines tipo header. Estos cables permiten establecer conexiones rápidas y ordenadas entre señales de control y líneas de alimentación sin necesidad de soldadura, lo cual facilita el montaje y la reconfiguración del sistema.

En el contexto técnico del prototipo, los cables Dupont aseguran una conexión confiable entre los pines digitales del Arduino y las entradas de control del módulo de relés, permitiendo conmutar los diferentes canales según la lógica programada. Su aislamiento individual y la codificación por colores favorecen la correcta identificación de rutas de señal y reducen errores de cableado durante el armado. A nivel del prototipo, su uso permite a los estudiantes manipular directamente las conexiones del sistema y comprender la función de cada enlace dentro del circuito, fortaleciendo habilidades en diseño, ensamblaje y diagnóstico de sistemas electrónicos.

Se utilizaron cables Dupont macho-hembra, macho-macho y hembra-hembra, seleccionados según los puertos de conexión de cada módulo y distribuidos de manera que se mantuviera accesibilidad y orden en la disposición final del prototipo.

Figura 14

Conectores Dupont interconectando el Arduino UNO con el módulo de relés



Nota. Su uso permite una instalación flexible y segura, facilitando la interactividad del prototipo tanto en contextos de experimentación como en prácticas educativas supervisada.

Cable dúplex para la distribución de energía en el sistema

Para asegurar una conducción adecuada de corriente entre los módulos principales del prototipo fotovoltaico, se empleó cable dúplex bicolor, utilizado para las conexiones de potencia del sistema. Este tipo de cable, compuesto por dos conductores paralelos identificados por colores (rojo para positivo y negro para negativo), permite realizar enlaces eléctricos firmes y organizados entre la batería, el controlador de carga y otros dispositivos que operan a 12 V.

Desde el punto de vista técnico, el cable dúplex ofrece una baja resistencia eléctrica y una capacidad de corriente acorde con las necesidades del sistema, garantizando una alimentación estable incluso durante periodos de carga simultánea. Su estructura paralela facilita el tendido de líneas ordenadas y reduce el riesgo de errores de polaridad, contribuyendo a la seguridad y confiabilidad del prototipo.

Se seleccionó un cable de calibre 18 AWG, adecuado para corrientes moderadas utilizadas en sistemas fotovoltaicos de baja potencia. Este calibre permite manejar el flujo energético requerido sin sobrecalentamiento y con pérdidas mínimas, asegurando un rendimiento adecuado en condiciones normales de operación.

Figura 15

Cable dúplex bicolor de calibre 18 AWG utilizado en el sistema



Nota. El cable dúplex, compuesto por dos conductores paralelos rojo y negro, se emplea para la distribución segura de energía entre los componentes del sistema, asegurando una correcta conducción de corriente en las líneas principales.

Porta batería de 9 V (clip)

Para facilitar la conexión segura y ordenada de las baterías recargables de 9 V dentro del prototipo, se emplearon porta baterías tipo clip como soporte físico y eléctrico. Este componente permite alojar la batería en una carcasa rígida, asegurando un contacto estable con los terminales y evitando descargas accidentales durante las pruebas o el proceso de carga.

Desde el punto de vista técnico, el porta batería está equipado con un conector tipo snap que coincide con los terminales tipo botón de las baterías de 9 V. Los cables bifilares, rojo para el polo positivo y negro para el negativo, permiten una conexión directa y correcta hacia los módulos elevadores de voltaje (Boost Converter MT3608) o hacia los circuitos del sistema según la configuración requerida. Esta disposición reduce errores de polaridad y garantiza un contacto eléctrico fiable durante el funcionamiento.

Se seleccionaron porta baterías estándar de 9 V con carcasa plástica para mejorar la protección mecánica y evitar que la batería quede expuesta durante las actividades de laboratorio. Cada porta batería se integró al circuito correspondiente, permitiendo una conexión rápida y una supervisión sencilla del estado de carga durante las pruebas del prototipo.

Figura 16

Porta batería de 9 V tipo clip utilizado en el sistema



Nota. Permite una conexión segura y práctica entre el módulo de elevación de voltaje y la batería recargable, optimizando el proceso de montaje y supervisión del prototipo.

Interruptor para encendido y apagado del sistema

Para permitir el control manual del flujo de energía en el prototipo, se incorporó un interruptor de encendido y apagado (ON/OFF) en la línea principal de alimentación proveniente de la batería de 12 V. Este componente facilita activar o desactivar el sistema de manera segura, evitando la necesidad de desconectar cables o manipular directamente la batería durante las pruebas o el mantenimiento.

Desde el punto de vista técnico, el interruptor actúa como un elemento de apertura y cierre del circuito, permitiendo interrumpir por completo la circulación de corriente en estado OFF y restablecerla en estado ON. Su instalación en la línea positiva garantiza que el sistema permanezca eléctricamente aislado cuando no está en uso, reduciendo riesgos de cortocircuitos, descargas accidentales o funcionamiento no deseado de los módulos electrónicos.

A nivel educativo, el uso de un interruptor accesible promueve buenas prácticas de seguridad eléctrica, permitiendo a los estudiantes encender y apagar el prototipo de forma controlada mientras desarrollan actividades experimentales. Su integración también facilita la supervisión del sistema y la identificación de estados operativos durante las demostraciones.

Figura 17

Interruptor ON/OFF instalado en la línea de alimentación del sistema



Nota. El interruptor permite activar o desactivar el prototipo de forma segura, controlando el flujo de energía desde la batería hacia los componentes electrónicos del sistema fotovoltaico.

Cinta eléctrica de PVC

Para asegurar el aislamiento adecuado de las conexiones eléctricas del prototipo, se utilizó cinta eléctrica negra de PVC, un material adhesivo diseñado específicamente para proteger uniones y conductores en sistemas de baja tensión. Su función principal es evitar cortocircuitos, descargas accidentales y desprendimientos de cables, garantizando un funcionamiento seguro durante las pruebas y la operación del sistema fotovoltaico.

Desde el punto de vista técnico, la cinta de PVC ofrece propiedades aislantes, resistencia mecánica y buena adhesión, lo que permite cubrir empalmes, fijar cables y reforzar puntos susceptibles de movimiento o tensión. Su flexibilidad facilita envolver conductores de distintos diámetros sin comprometer la aislación, asegurando estabilidad a lo largo del uso continuo del prototipo.

En el contexto educativo, su empleo permite que los estudiantes se familiaricen con prácticas básicas de seguridad eléctrica y con el manejo adecuado de materiales de aislamiento en proyectos de electrónica aplicada y energías renovables.

Figura 18

Cinta eléctrica de PVC utilizada para el aislamiento de conexiones



Nota. La cinta eléctrica de PVC se emplea para proteger uniones y conductores, garantizando un aislamiento adecuado y mayor seguridad en el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Set de herramientas mini de 32 piezas (DEXTER)

Se utilizó un set de herramientas mini de 32 piezas marca DEXTER, el cual reúne puntas intercambiables y un destornillador ergonómico diseñados para realizar ajustes y ensamblajes de precisión en proyectos electrónicos. Este kit facilita la manipulación segura de tornillería pequeña presente en módulos como el Arduino, el controlador de carga, los convertidores DC-DC y las bases de baterías, permitiendo un montaje eficiente y ordenado del prototipo.

Su formato compacto y la variedad de puntas incluidas lo convierten en una herramienta versátil para labores de mantenimiento ligero, ajustes de conexión y tareas de ensamblaje en sistemas fotovoltaicos educativos, donde se requiere precisión sin comprometer la integridad de los componentes.

Figura 19

Set de herramientas mini de 32 piezas (DEXTER)



Nota. Kit compacto utilizado para el ensamblaje y ajuste de componentes electrónicos del prototipo, facilitando la manipulación segura de tornillos y fijaciones durante el proceso de montaje.

➤ **Diseño del prototipo funcional del sistema de carga de baterías, integrando tecnologías de control y automatización.**

El diseño del prototipo se desarrolló mediante un proceso estructurado que integró los subsistemas de generación, almacenamiento, acondicionamiento y control automático. Para ello, se siguieron las siguientes etapas:

Organización y modelado del sistema

La organización y modelado del sistema consistieron en estructurar de manera clara y funcional los componentes que conforman el prototipo automatizado de carga de baterías. Para ello, se dispusieron en la mesa de trabajo los elementos principales, panel solar, batería de 12 V, controlador PWM, Arduino UNO, módulo de relés, convertidores DC - DC y cargadores TP4056, con el fin de establecer un esquema modular que facilitara su conexión, verificación y posterior puesta en marcha.

En esta etapa se definieron las rutas de energía y control, asegurando la correcta secuencia del flujo eléctrico desde el panel hacia la batería y, posteriormente, hacia los módulos de regulación y carga. Se verificaron niveles de voltaje, continuidad y polaridad mediante un multímetro, garantizando la integridad del sistema antes de la fase de programación y pruebas. El uso de conectores Dupont, cable dúplex y porta baterías permitió ordenar el cableado y mantener la accesibilidad a cada módulo para su inspección y ajuste.

Figura 20

Organización inicial y modelado del prototipo automatizado de carga de baterías



Nota. Se muestra la disposición inicial de los componentes principales del prototipo, panel solar, batería de 12 V, controlador de carga, módulo de relés, convertidores DC-DC y cargadores TP4056, durante la fase de organización y modelado del sistema.

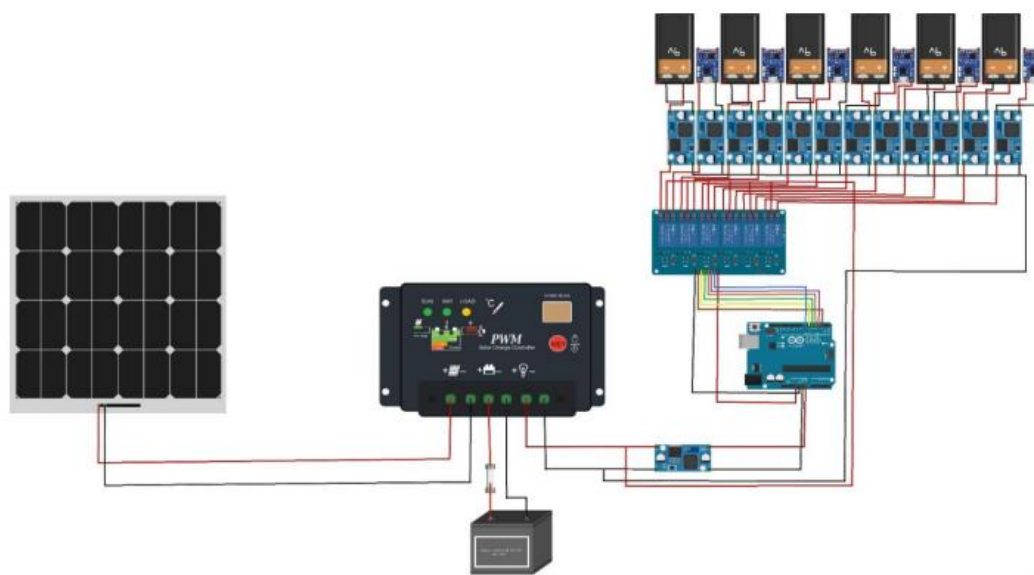
Diseño del esquema eléctrico

El diseño del esquema eléctrico consistió en representar de forma clara la estructura funcional del prototipo, definiendo las conexiones esenciales entre los módulos de generación, regulación, control y carga. Para ello, se elaboró un diagrama que integra las líneas de potencia provenientes del panel solar hacia el controlador PWM y, posteriormente, hacia la batería de 12 V, incorporando el fusible e interruptor principal como elementos de protección. Desde la batería, se modelaron las derivaciones hacia los convertidores DC-DC (buck y boost), especificando los niveles de tensión requeridos por los

módulos TP4056, los porta baterías de 9 V y el sistema de control. Paralelamente, se estructuró el circuito lógico que vincula el Arduino UNO con el módulo de relés, identificando los pines de control utilizados y las salidas asignadas para la conmutación de los distintos canales de carga.

Figura 21

Esquema eléctrico general del sistema de carga automatizado



Nota. El diagrama integra las rutas de potencia y control del prototipo, incluyendo el panel solar, controlador PWM, batería de respaldo, convertidores Buck y Boost, módulo de relés y microcontrolador Arduino UNO.

Integración del subsistema fotovoltaico

La integración del subsistema fotovoltaico consistió en conectar y configurar los elementos responsables de la generación y administración inicial de la energía dentro del prototipo. Para ello, se instaló el panel solar monocristalino de 40 W en su soporte con inclinación fija, asegurando su orientación adecuada para la captación eficiente de radiación. Posteriormente, se conectaron las terminales del panel al controlador de carga PWM, siguiendo la polaridad indicada y verificando la continuidad eléctrica antes de energizar

el sistema.

Una vez conectado el panel, se integró la batería de 12 V al controlador mediante el fusible de 10 A y el interruptor general, estableciendo la ruta principal de almacenamiento y protección del sistema. Con esta conexión se habilitó la lectura de parámetros en la pantalla LCD del controlador, permitiendo confirmar el estado del panel, el voltaje de la batería y las condiciones de carga.

Figura 22

Conexión del panel solar y batería al controlador de carga



Nota. Se observa la integración del panel fotovoltaico de 40 W y la batería de 12 V al controlador PWM, conformando el subsistema encargado de la generación y almacenamiento inicial de energía.

Implementación del subsistema de acondicionamiento de energía

La implementación del subsistema de acondicionamiento de energía tuvo como finalidad adaptar los niveles de tensión provenientes de la batería de 12 V a los requerimientos específicos de los módulos de control y carga del prototipo. Para ello, se integraron convertidores DC - DC encargados de suministrar voltajes estables y adecuados para cada etapa del sistema.

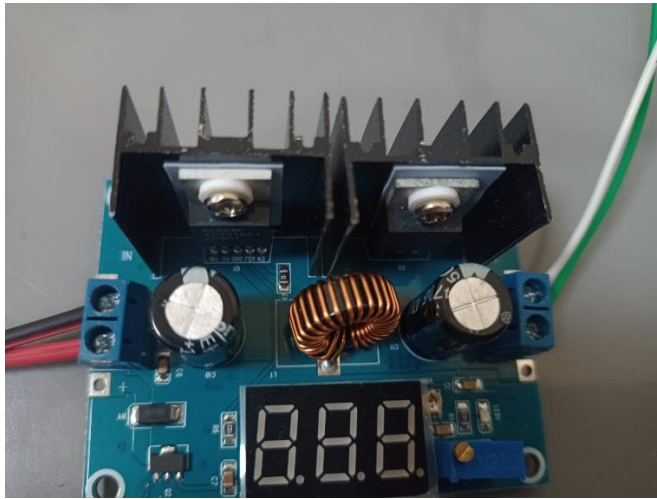
En primer lugar, se instaló el convertidor reductor Buck LM2596, configurado para generar una salida regulada de 5 V, necesaria para la alimentación del Arduino UNO, el módulo de relés y los cargadores TP4056. El ajuste del voltaje se realizó mediante su potenciómetro integrado, verificando la estabilidad de la salida con un multímetro digital antes de conectar los módulos asociados.

Posteriormente, se incorporaron los convertidores elevadores MT3608, responsables de obtener 9 V a partir de la línea de 12 V para la carga de baterías recargables tipo 9 V. Cada convertidor fue calibrado de manera independiente, asegurando que la tensión se mantuviera dentro del rango seguro de operación de las baterías y de los porta baterías utilizados en el prototipo.

El subsistema fue completado mediante la organización de las rutas de potencia utilizando cable dúplex para diferenciar las polaridades y asegurar pérdidas mínimas en la conducción. Esta disposición permitió obtener un suministro energético estable para las etapas de control y carga, garantizando un funcionamiento seguro y confiable del sistema durante las pruebas operativas.

Figura 23

Configuración del convertidor reductor Buck LM2596



Nota. El convertidor Buck se ajusta a 5 V para alimentar al Arduino UNO, al módulo de relés y a los cargadores TP4056, asegurando una regulación estable del voltaje.

Integración del sistema de control y automatización

La integración del sistema de control y automatización se centró en coordinar, mediante un microcontrolador Arduino UNO, los distintos módulos responsables de la gestión energética del prototipo. Este sistema permitió supervisar el estado de carga de las baterías, controlar la conmutación entre rutas de alimentación y asegurar una operación ordenada y segura del circuito.

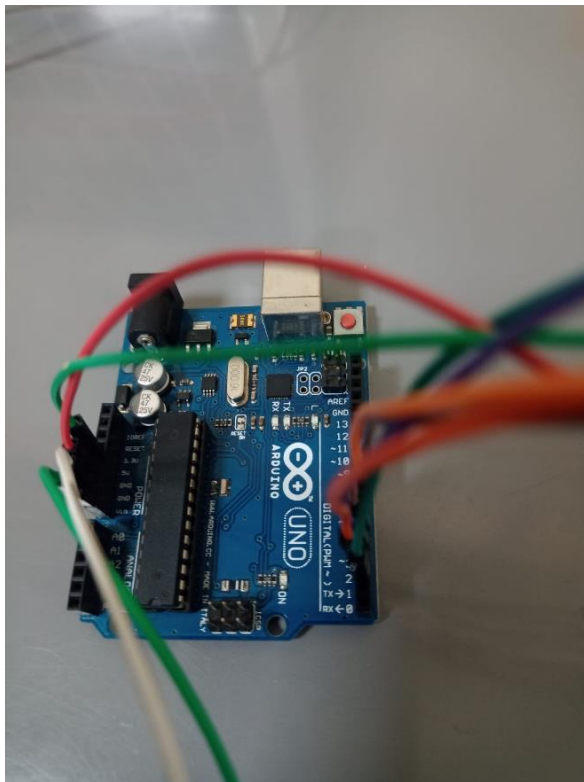
El Arduino UNO fue configurado como unidad principal de control, estableciendo comunicación directa con el módulo de relés de 6 canales, encargado de activar o desactivar cada una de las rutas de carga según la lógica definida en el programa. Los pines digitales se asignaron de manera estructurada para mantener una correspondencia clara entre cada relé y su módulo asociado, ya sea TP4056 o convertidor boost, garantizando una automatización precisa del proceso.

El subsistema se complementó con la distribución regulada de 5 V proveniente

del Buck Converter, lo que aseguró una alimentación estable para el microcontrolador y los dispositivos de control. Asimismo, se emplearon cables Dupont para organizar las líneas de señal, facilitando el montaje y permitiendo una verificación rápida de las conexiones durante las pruebas.

Figura 24

Arduino UNO configurado para la gestión del sistema



Nota. El Arduino UNO opera como unidad central de control, administrando la activación de los relés y coordinando la lógica del proceso de carga automatizado.

Instalación de los módulos de carga

La instalación de los módulos de carga se realizó para gestionar de manera independiente el proceso de recarga de las baterías de iones de litio de 3.7 V y las baterías recargables de 9 V empleadas en el prototipo. Para ello, se

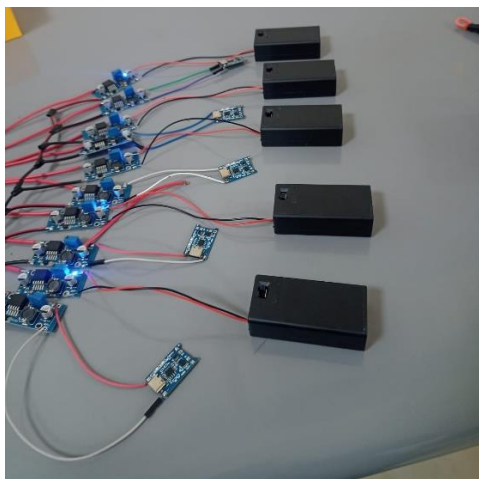
organizaron dos grupos de módulos: cargadores TP4056 para las baterías de litio y convertidores elevadores MT3608 para las baterías de 9 V.

Los módulos TP4056 fueron montados sobre una base aislada y conectados directamente a cada batería de 3.7 V, siguiendo una distribución paralela que permite la carga simultánea de múltiples celdas sin interferencias entre sí. Cada módulo recibió alimentación regulada de 5 V proveniente del Buck Converter, y se verificó el funcionamiento de los indicadores LED para asegurar la correcta operación en las etapas de carga y finalización.

Para las baterías de 9 V, se instalaron convertidores boost MT3608, encargados de elevar la tensión desde la línea de 12 V hasta el nivel requerido por estas baterías. Cada convertidor fue calibrado individualmente hasta alcanzar los 9 V estables, y posteriormente se conectó a su respectivo porta batería tipo clip. La disposición modular facilitó la identificación de cada canal de carga y permitió su integración directa con el módulo de relés encargado de la conmutación automática.

Figura 25

Disposición de los módulos TP4056 y Boost para carga simultánea



Nota. Los cargadores TP4056 y los convertidores MT3608 se organizan en paralelo para permitir la carga independiente y simultánea de baterías de 3.7 V y 9 V.

Programación del sistema automatizado

La programación del sistema automatizado tuvo como objetivo coordinar el funcionamiento de los diferentes módulos del prototipo, permitiendo gestionar de manera secuencial y segura los procesos de carga de las baterías de 3.7 V y 9 V. Para ello, se desarrolló un algoritmo implementado en el microcontrolador Arduino UNO, encargado de supervisar el estado del sistema, activar los canales de carga necesarios y garantizar que la conmutación se realizara de forma controlada.

El programa definió inicialmente la configuración de los pines digitales asociados al módulo de relés de 6 canales, asignando a cada uno una función específica dentro del proceso de carga. Posteriormente, se estableció la lógica de operación, basada en la activación selectiva de los relés para dirigir la energía hacia los módulos TP4056 o los convertidores boost MT3608, según el tipo de batería que se estuviera gestionando. Esta estructura permitió operar las rutas de carga de manera independiente y evitar interferencias entre los distintos subsistemas.

El algoritmo incorporó además rutinas de verificación que permiten validar la disponibilidad de alimentación de 5 V suministrada por el Buck Converter, asegurando que el sistema de control opere únicamente bajo condiciones seguras. Asimismo, se añadieron funciones de temporización para regular los intervalos de conmutación y evitar activaciones simultáneas no deseadas que puedan comprometer la estabilidad eléctrica del prototipo.

Figura 26

Verificación del sistema durante la programación y ajustes finales



Nota. Se observa la comprobación de tensiones y conexiones mientras se valida el funcionamiento del código de control programado en el Arduino UNO.

Montaje físico y revisión final

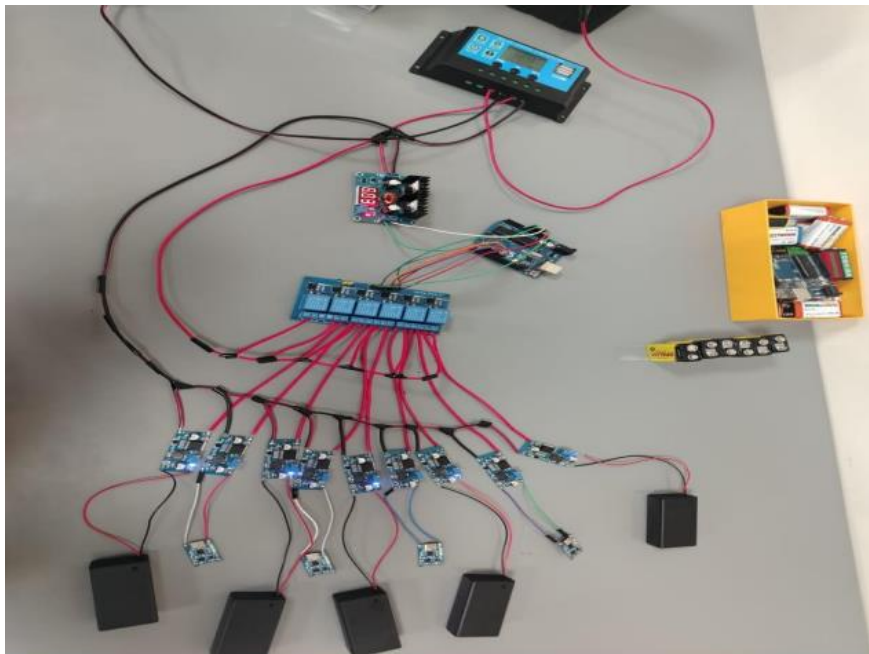
El montaje físico del prototipo se realizó integrando de manera ordenada todos los subsistemas eléctricos y electrónicos previamente implementados. Para ello, se empleó una mesa del laboratorio de física que permitió distribuir cada módulo de forma accesible y segura, garantizando la correcta identificación de las rutas de energía y de los puntos de conexión. Sobre esta superficie se colocó el panel de distribución, la batería de 12 V, el controlador de carga, el convertidor Buck, los convertidores Boost, los cargadores TP4056, el módulo de relés y el microcontrolador Arduino UNO, siguiendo el diseño establecido en el esquema general del sistema.

Durante el ensamblaje se organizaron las conexiones utilizando cable dúplex para las líneas de potencia y cables Dupont para las señales de control, minimizando cruces innecesarios y asegurando una adecuada separación entre los circuitos de baja y alta corriente. Asimismo, se verificó la correcta polaridad en cada módulo y la firmeza de los terminales de tornillo, porta baterías y conectores, con el fin de evitar fallas por falsos contactos durante las pruebas operativas.

Una vez completado el montaje, se realizó una revisión integral del sistema, comprobando la continuidad eléctrica, la estabilidad de los voltajes regulados y el funcionamiento del controlador de carga y del módulo de relés bajo las condiciones de alimentación previstas.

Figura 27

Montaje completo del prototipo de carga automatizada



Nota. Vista general de todos los subsistemas integrados y operativos, incluyendo el controlador, relés, convertidores DC - DC y módulos de carga.

➤ **Evaluación del rendimiento del prototipo mediante la realización de pruebas de funcionamiento.**

Una vez finalizado el diseño, se evaluó el desempeño del sistema para verificar su capacidad de cubrir la demanda energética diaria y garantizar un funcionamiento seguro. Para ello, se siguieron los pasos descritos a continuación:

Definición de parámetros de evaluación

Para garantizar una valoración objetiva del funcionamiento del prototipo de sistema automatizado de carga de baterías, se definieron parámetros de evaluación orientados a medir su desempeño energético, estabilidad operativa y confiabilidad en condiciones reales de uso. Estos parámetros permiten analizar de manera cuantitativa y cualitativa el comportamiento del sistema frente a la demanda energética planteada y verificar el cumplimiento de los objetivos técnicos del diseño.

En primer lugar, se establecieron indicadores relacionados con la producción y disponibilidad de energía, incluyendo la potencia efectiva suministrada por el panel solar, la energía diaria acumulada en la batería de respaldo y la eficiencia del proceso de acondicionamiento de energía. Estos parámetros permiten determinar si el sistema es capaz de cubrir la demanda ajustada de 100.13 Wh/día bajo condiciones típicas de irradiancia.

Asimismo, se definieron métricas asociadas a la operatividad de los módulos de control y automatización, tales como el tiempo de respuesta en la conmutación mediante el módulo de relés, la estabilidad del voltaje regulado suministrado por el Buck Converter y el comportamiento individual de los módulos TP4056 durante las etapas de carga de corriente constante y voltaje constante.

Finalmente, se consideraron parámetros de seguridad y confiabilidad, incluyendo la verificación del funcionamiento del fusible, el correcto aislamiento de las conexiones y el comportamiento del sistema en condiciones de carga simultánea. Estos elementos aseguran que el prototipo opere sin riesgos para los equipos ni para los usuarios.

Preparación de pruebas

Para evaluar el desempeño del prototipo de sistema automatizado de carga de baterías con energía fotovoltaica, se estableció un procedimiento sistemático de preparación de pruebas orientado a garantizar condiciones de medición confiables y reproducibles. Esta etapa permitió verificar que todos los subsistemas se encontraran operativos antes de iniciar la evaluación formal del rendimiento.

En primer lugar, se inspeccionó la continuidad y polaridad de las conexiones eléctricas del panel solar, controlador de carga, batería de respaldo y módulos electrónicos, confirmando que no existieran fallas por falsos contactos o derivaciones. Posteriormente, se midió el voltaje de cada etapa del sistema (12 V, 5 V y 9 V) utilizando un multímetro digital, asegurando que los convertidores Buck y Boost mantuvieran valores estables dentro de los rangos esperados para las pruebas.

Una vez verificados los niveles de tensión, se energizó el módulo de relés y el microcontrolador Arduino UNO, comprobando la comunicación entre ambos y validando la correcta ejecución del programa de control. Esta revisión incluyó la activación manual de cada canal de conmutación para confirmar que las rutas de carga respondieran adecuadamente.

Figura 28

Verificación de conexiones y mediciones previas a las pruebas



Nota. Se inspeccionan voltajes, continuidad y polaridad para garantizar que todos los subsistemas se encuentren en condiciones adecuadas antes de iniciar las pruebas experimentales.

Ejecución de pruebas de carga

La ejecución de las pruebas de carga tuvo como finalidad verificar el desempeño real del prototipo bajo condiciones controladas, evaluando la capacidad del sistema para suministrar energía de manera estable a las baterías de 3.7 V y 9 V. Estas pruebas permitieron analizar la eficiencia del proceso de carga, el comportamiento del sistema de automatización y la estabilidad del subsistema de acondicionamiento de energía.

En primer lugar, se energizó el sistema activando el interruptor principal y verificando la disponibilidad de tensión en las líneas de 12 V, 5 V y 9 V. Una vez confirmada la estabilidad del sistema, se activaron los canales del módulo de relés según la programación establecida, dirigiendo la energía hacia los módulos TP4056 o los convertidores MT3608 según el tipo de batería evaluada.

Para cada batería, se registró el voltaje inicial y se supervisó la evolución del proceso de carga en intervalos regulares, anotando el tiempo necesario para alcanzar el estado de carga completa. En el caso de las baterías de litio, se verificó el comportamiento del módulo TP4056 en sus etapas de carga en corriente constante (CC) y voltaje constante (CV), mientras que para las baterías de 9 V se evaluó la estabilidad de la salida del convertidor boost y la respuesta de la batería durante el ciclo de carga.

Figura 29

Baterías conectadas durante la prueba de carga controlada



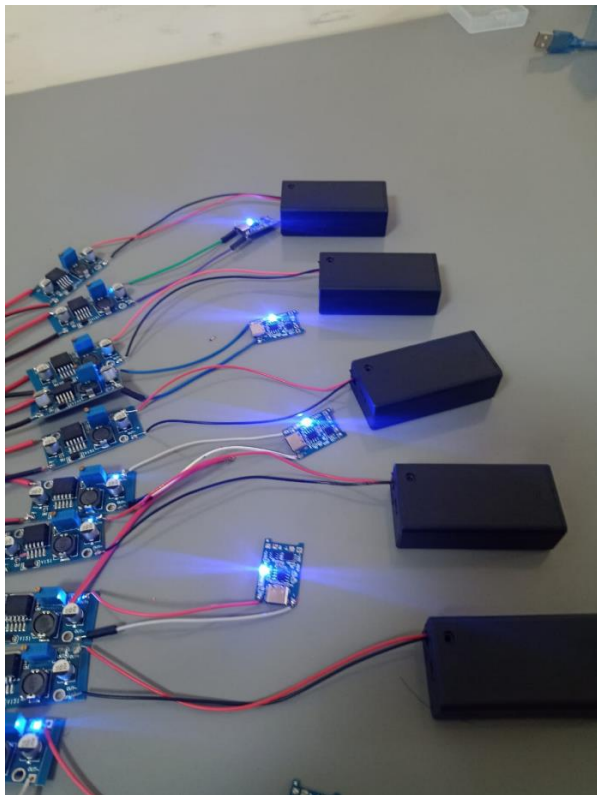
Nota. Se muestran las baterías distribuidas en los porta baterías mientras reciben energía desde los módulos de carga en operación.

Análisis del rendimiento

El análisis del rendimiento del prototipo se basó en la interpretación de los datos obtenidos durante las pruebas de carga, con el propósito de evaluar la eficiencia energética del sistema, la estabilidad de sus subsistemas electrónicos y la capacidad del sistema de automatización para gestionar adecuadamente las rutas de carga. Esta evaluación permitió determinar el grado de cumplimiento de los objetivos técnicos planteados y la viabilidad operativa del prototipo.

Figura 30

Vista del sistema de carga durante la etapa de operación continua



Nota. La imagen ilustra el comportamiento estable del sistema durante el periodo de análisis del rendimiento energético.

III. RESULTADOS

- **Análisis de los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el desarrollo de un sistema de carga de baterías basado en energía fotovoltaica.**

Los resultados de la etapa de determinación de requerimientos permitieron traducir el análisis bibliográfico, los datos de irradiancia de la plataforma NASA/POWER y la caracterización de las baterías del laboratorio en especificaciones concretas de diseño. A partir de la demanda energética ajustada (100.13 Wh/día) y de la disponibilidad del recurso solar en Jaén, se definieron los componentes principales del sistema fotovoltaico y de la electrónica asociada, como se detalla a continuación.

Especificaciones del Panel Solar Fotovoltaico

Con base en la irradiancia promedio anual de 4.29 kWh/m²/día y en la demanda energética ajustada, se dimensionó el generador fotovoltaico. El análisis mostró que un área mínima teórica de 0.13 m² sería suficiente; sin embargo, para garantizar un margen de seguridad frente a variaciones de radiación y pérdidas adicionales, se seleccionó un panel monocristalino comercial de 40 W. La Tabla 7 sintetiza sus principales características técnicas.

Tabla 7
Especificaciones del Panel Solar Fotovoltaico

Característica	Valor Sugerido
Tipo	Monocristalino
Potencia Nominal	50 W
Eficiencia	18.43%
Voltaje de Operación (Vmp)	17.8 V
Corriente Máxima (Isc)	3.03 A
Área Aproximada	0.33 m ²
Dimensiones	650 mm x 505 mm x 25 mm
Peso	3.7 kg
Soporte	Estructura metálica inclinada a 15°, fija, resistente a intemperie

Los resultados confirman que el panel monocristalino de 40 W cubre holgadamente la demanda diaria de 100.13 Wh/día estimada. Su eficiencia y dimensiones lo hacen adecuado para aplicaciones de pequeña escala, mientras que el margen de potencia disponible permite compensar pérdidas por suciedad, variaciones de irradiancia y condiciones climáticas desfavorables.

Controlador de carga

A partir de la potencia máxima del panel (40 W) y del voltaje nominal del banco de almacenamiento (12 V), se determinó el controlador de carga más apropiado. El análisis comparativo entre tecnologías PWM y MPPT, descrito en la etapa metodológica, condujo a la selección de un regulador PWM de 10 A por su simplicidad, costo reducido y adecuada capacidad para sistemas de baja potencia. La Tabla 8 resume sus características.

Tabla 8
Controlador de Carga Solar

Característica	Valor Sugerido
Tipo	PWM (modulación por ancho de pulso)
Voltaje de operación	12/24 V
Corriente nominal	10:00 a. m.
Pantalla	LCD con indicadores de voltaje, corriente y estado de batería
Puertos adicionales	2 puertos USB para carga de dispositivos
Protecciones	Sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito
Aplicación	Sistemas fotovoltaicos de baja potencia para uso educativo

Característica	Valor Sugerido
Tipo	Monocristalino
Potencia Nominal	50 W
Eficiencia	18.43%
Voltaje de Operación (Vmp)	17.8 V
Corriente Máxima (Isc)	3.03 A
Área Aproximada	0.33 m ²
Dimensiones	650 mm × 505 mm × 25 mm

Peso	3.7 kg
Soporte	Estructura metálica inclinada a 15°, fija, resistente a intemperie

El regulador PWM de 10 A garantiza una gestión segura del flujo de energía entre el panel y la batería, protegiendo al sistema frente a sobrecargas y descargas profundas. Aunque su eficiencia es menor que la de un MPPT, su bajo costo y facilidad de uso lo hacen plenamente coherente con los objetivos didácticos y con la potencia del generador seleccionado.

Sistema de Almacenamiento Energético

Considerando la demanda energética ajustada (100.13 Wh/día) y la necesidad de disponer de autonomía durante periodos sin radiación solar, se evaluaron distintas tecnologías de almacenamiento. La comparación técnica presentada en la Tabla 5 permitió seleccionar una batería de plomo-ácido de 12 V y 25 Ah, modelo CAFINI, cuya energía disponible supera ampliamente la demanda diaria. La Tabla 9 detalla sus características.

Tabla 9

Sistema de Almacenamiento Energético

Característica	Valor Sugerido
Tipo de batería	Plomo-ácido sellada (CAFINI CN-DC2620QS)
Voltaje nominal	12 V
Capacidad	25 Ah
Energía almacenada	300 Wh
Vida útil estimada	4-6 años (uso adecuado y mantenimiento básico)
Mantenimiento	Libre de mantenimiento
Contenedor	Caja plástica rígida sobre mesa de laboratorio
Protección adicional	Fusible rápido de 10 A en la línea positiva

La batería CAFINI de 300 Wh proporciona aproximadamente tres veces la

demanda diaria calculada, lo que asegura autonomía suficiente y un margen de operación confortable para prácticas continuas en el laboratorio. Su robustez y compatibilidad con el controlador PWM la convierten en una solución adecuada para un entorno educativo con frecuentes ciclos de carga y descarga.

Electrónica de Conversión y Distribución de Energía

Con el propósito de adaptar los 12 V del banco de baterías a los niveles requeridos por los módulos electrónicos y las baterías a cargar (3.7 V y 9 V), se definió la electrónica de conversión y distribución de energía. A partir de los criterios de eficiencia, facilidad de ajuste y disponibilidad en el mercado, se seleccionaron los módulos que se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10

Electrónica de Conversión y Distribución de Energía

Componente	Modelo / Tipo	Valor Sugerido
Convertidor Buck	LM2596	Entrada 12 V / salida 5 V regulada para Arduino, relés y TP4056
Convertidores Boost	MT3608	Entrada 12 V / salida ajustada a 9 V para baterías recargables
Módulos de carga	TP4056 (USB-C)	Carga individual de baterías Li-ion de 3.7 V con indicadores LED
Porta batería 9 V	Tipo clip snap	Carcasa plástica con cables bifilares rojo/negro
Cable potencia	Cable dúplex 18 AWG	Distribución de 12 V entre panel, controlador y batería
Protección en continua	Fusible 10 A	Instalado entre batería y controlador de carga
Elemento de maniobra	Interruptor ON/OFF	En línea positiva de 12 V para seccionamiento manual del sistema

La combinación de convertidores Buck y Boost, junto con los módulos TP4056, permite acondicionar la energía de forma específica para cada tipo de batería, manteniendo niveles de tensión seguros y estables. El uso de cable dúplex, fusible e interruptor refuerza la seguridad y confiabilidad del sistema, alineándose con las buenas prácticas descritas en la etapa metodológica.

Sistema de control y automatización

Finalmente, los requerimientos de automatización y control identificados en la fase de diseño, gestión secuencial de rutas de carga, conmutación mediante relés y supervisión básica del estado del sistema, condujeron a la selección de un microcontrolador de arquitectura abierta y de un módulo de relés compatible. La Tabla 11 presenta los elementos que conforman el subsistema de control y automatización.

Tabla 11*Sistema de control y automatización*

Componente	Especificación
Microcontrolador	Arduino UNO R3, ATmega328P, 14 E/S digitales, 6 entradas analógicas
Módulo de relés	Módulo de 6 canales, 5 V, con optoacopladores, capacidad hasta 10 A/canal
Interconexión lógica	Cables y conectores Dupont (macho-macho, macho-hembra, hembra-hembra)
Indicación de estado	LEDs integrados en TP4056 y pantalla LCD del controlador PWM
Microcontrolador	Arduino UNO R3, ATmega328P, 14 E/S digitales, 6 entradas analógicas
Módulo de relés	Módulo de 6 canales, 5 V, con optoacopladores, capacidad hasta 10 A/canal

El Arduino UNO R3, en conjunto con el módulo de relés de 6 canales, satisface los requerimientos de automatización definidos para el prototipo, permitiendo conmutar de forma independiente cada ruta de carga y gestionar la operación de los módulos TP4056 y MT3608. La interconexión mediante cables Dupont favorece un montaje flexible y didáctico, coherente con el propósito formativo del sistema.

- **Diseño del prototipo funcional del sistema de carga de baterías, integrando tecnologías de control y automatización.**

Diseño del sistema fotovoltaico

El diseño del prototipo automatizado integró de manera funcional los subsistemas de generación, almacenamiento, acondicionamiento y control, hasta obtener un sistema operativo capaz de gestionar la carga de baterías de 3.7 V y 9 V en el Laboratorio de Física. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos en cada etapa del proceso de diseño e implementación.

Organización y modelado del sistema

Como resultado de la fase de organización y modelado, se logró una disposición modular y estructurada de los componentes principales del prototipo: panel solar de 40 W, batería de 12 V, controlador de carga PWM, microcontrolador Arduino UNO, módulo de relés, convertidores DC-DC (Buck y Boost) y módulos TP4056.

Los elementos se distribuyeron de manera que se definieran desde el inicio las rutas de energía y control, respetando la secuencia panel, controlador, batería, acondicionamiento, módulos de carga. Mediante mediciones de voltaje, continuidad y polaridad con multímetro, se verificó la correcta interconexión de los módulos. El uso de conectores Dupont, cable dúplex y porta baterías permitió mantener un cableado organizado y accesible.

Figura 31

Organización inicial y modelado del prototipo automatizado de carga de baterías



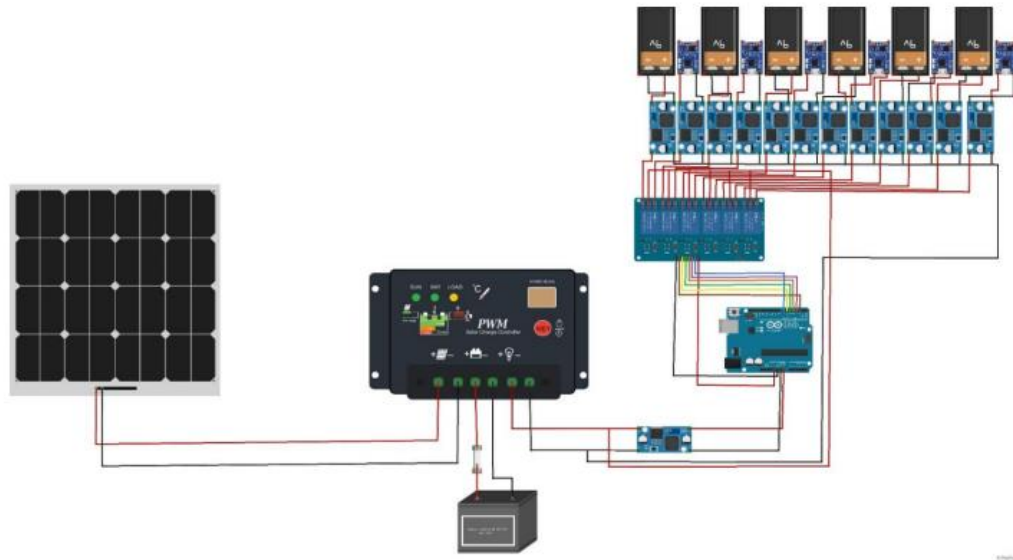
Nota. Se muestra la disposición inicial del panel de distribución, batería de 12 V, controlador de carga, módulo de relés, convertidores DC-DC y cargadores TP4056 durante la fase de modelado del sistema.

Diseño del esquema eléctrico

El diseño del esquema eléctrico representó las conexiones desde el panel solar hacia el controlador PWM y de este hacia la batería de 12 V, incluyendo el fusible e interruptor principal. Desde la batería se definieron las derivaciones hacia el convertidor Buck (5 V) y los convertidores Boost (9 V), además de las conexiones hacia los módulos TP4056, los porta baterías y el Arduino UNO. El mapeo de pines entre el Arduino y el módulo de relés de 6 canales quedó claramente definido, permitiendo identificar la función de cada salida dentro del sistema.

Figura 32

Esquema eléctrico general del sistema de carga automatizado



Nota. El diagrama integra las rutas de potencia y control entre panel solar, controlador PWM, batería de respaldo, convertidores Buck y Boost, módulo de relés y microcontrolador Arduino UNO.

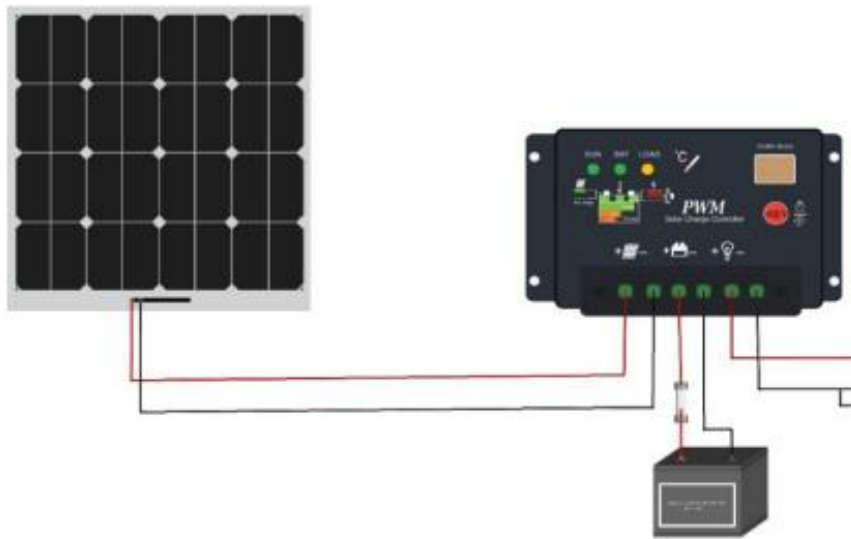
Integración del subsistema fotovoltaico

En la integración del subsistema fotovoltaico se obtuvo un conjunto de generación y almacenamiento plenamente operativo. El panel solar de 40 W fue instalado en un soporte con inclinación fija de 15°, adecuada para la latitud de Jaén. Sus terminales se conectaron al controlador PWM verificando la polaridad y continuidad.

Posteriormente, se integró la batería de 12 V mediante un fusible de 10 A y un interruptor general. La pantalla LCD del controlador mostró el estado del panel, voltaje de batería y condiciones de carga, confirmando el correcto funcionamiento del subsistema.

Figura 33

Conexión del panel solar y batería al controlador de carga



Nota. Se observa la integración del panel fotovoltaico de 40 W y la batería de 12 V al controlador PWM, conformando el subsistema inicial de generación y almacenamiento de energía.

Implementación del subsistema de acondicionamiento de energía

El subsistema de acondicionamiento quedó conformado por los convertidores DC-DC encargados de adaptar los 12 V del banco de baterías.

El convertidor Buck LM2596 se configuró para entregar una salida estable de 5 V, necesaria para el Arduino, los relés y los TP4056. La salida se ajustó con multímetro hasta garantizar estabilidad.

Los convertidores Boost MT3608 se calibraron individualmente hasta obtener 9 V para la carga de baterías tipo 9 V. Las rutas de potencia se organizaron con cable dúplex, diferenciando polaridades para minimizar pérdidas.

Figura 34

Configuración del convertidor reductor Buck LM2596



Nota. El convertidor Buck se ajusta a 5 V para alimentar al Arduino UNO, al módulo de relés y a los cargadores TP4056, garantizando una regulación estable del voltaje.

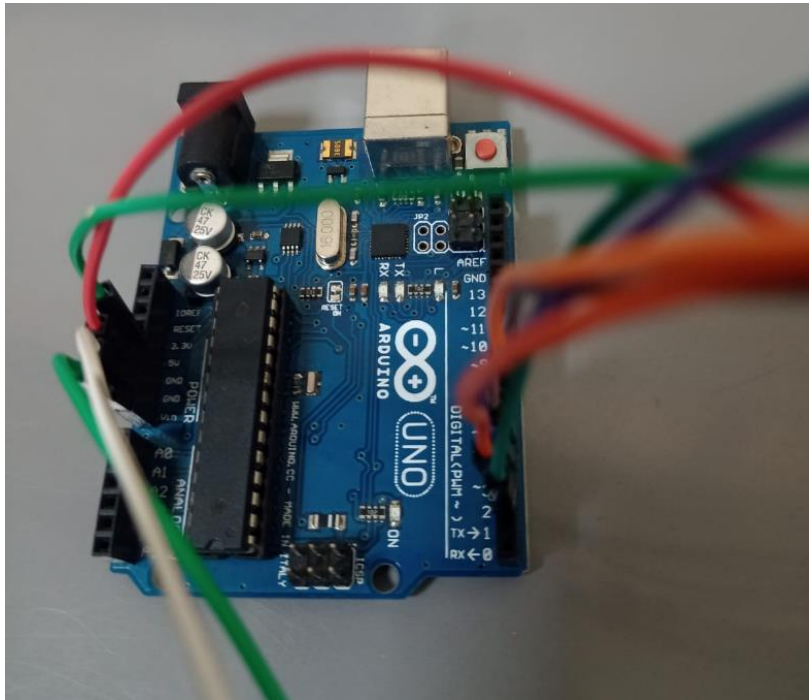
Integración del sistema de control y automatización

En esta etapa se consolidó la función del Arduino UNO como unidad central del sistema. El microcontrolador se enlazó al módulo de relés de 6 canales, de modo que cada relé controlara una ruta de carga específica asociada a los TP4056 o a los MT3608.

Los pines digitales se asignaron de forma ordenada, lo que facilitó la programación y el diagnóstico. La alimentación de 5 V proveniente del Buck se distribuyó hacia el Arduino y el módulo de relés. La interconexión mediante cables Dupont permitió mantener un montaje ordenado y verificable.

Figura 35

Arduino UNO configurado para la gestión del sistema



Nota. El Arduino UNO actúa como unidad central de control, administrando la activación de los relés y coordinando la lógica del proceso de carga automatizado.

Instalación de los módulos de carga

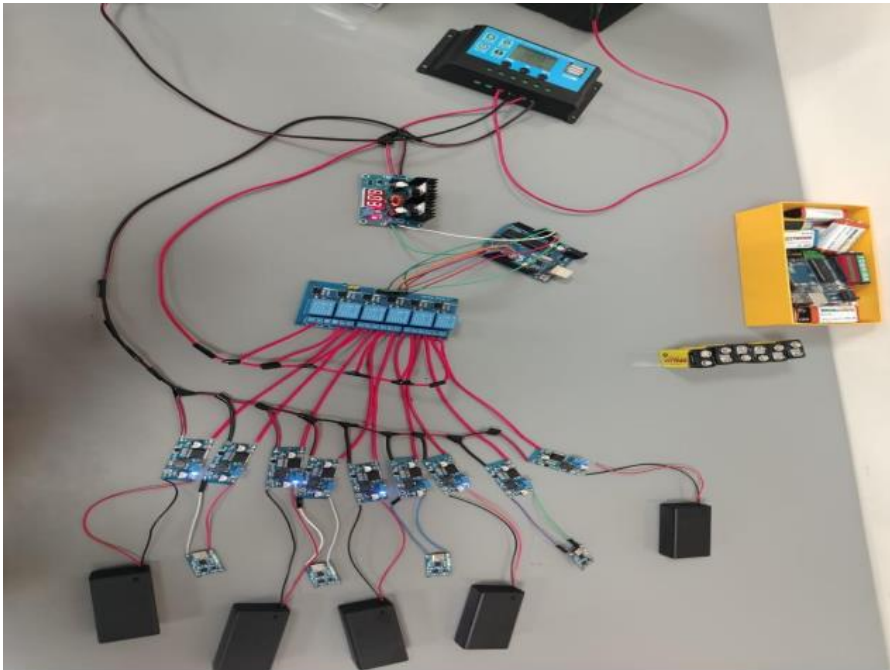
Los módulos de carga quedaron instalados y operativos para gestionar simultáneamente baterías de 3.7 V y 9 V.

Los módulos TP4056 se montaron sobre una base aislada y se conectaron directamente a cada batería de 3.7 V en paralelo. Se verificó el funcionamiento de los indicadores LED (carga / carga completa) para confirmar la correcta operación.

Los convertidores Boost MT3608 se ajustaron a 9 V y se conectaron a porta baterías tipo clip. La disposición modular permitió identificar fácilmente cada canal gestionado por los relés.

Figura 36

Disposición de los módulos TP4056 y Boost para carga simultánea



Nota: Los cargadores TP4056 y los convertidores MT3608 se organizan en paralelo para permitir la carga independiente y simultánea de baterías de 3.7 V y 9 V.

Programación del sistema automatizado

El algoritmo de control se implementó en el Arduino UNO y permitió operar de forma secuencial cada ruta de carga.

Los pines asociados a los relés fueron configurados y se definió la lógica de activación, dirigiendo la energía según el tipo de batería. Se añadieron rutinas de verificación de la línea de 5 V y temporizaciones para evitar activaciones simultáneas o bruscas.

Se realizaron pruebas de funcionamiento para validar la secuencia de los relés y el correcto direccionamiento de energía hacia los módulos de carga.

Figura 37

Verificación del sistema durante la programación y ajustes finales



Nota. Se observan mediciones de tensión y revisión de conexiones mientras se valida el código de control programado en el Arduino UNO.

Montaje físico y revisión final

El montaje físico integró todos los subsistemas en una disposición funcional sobre la mesa del laboratorio. Se colocaron el panel de distribución, batería de 12 V, controlador, convertidores Buck y Boost, módulos TP4056, relés y Arduino UNO siguiendo el diseño establecido.

Se organizaron las líneas de potencia con cable dúplex y las señales de control con cables Dupont, manteniendo separación adecuada entre corrientes altas y bajas. Se verificó la polaridad y firmeza de terminales y conectores para evitar fallas.

La revisión final incluyó pruebas de continuidad, verificación de voltajes regulados y ensayos con el controlador y el módulo de relés, confirmando que el prototipo quedó listo para evaluación de rendimiento.

Figura 38

Montaje completo del prototipo de carga automatizada



Nota. Vista general de los subsistemas integrados y operativos, incluyendo controlador de carga, módulo de relés, convertidores DC-DC y módulos de carga, dispuestos para su uso en el Laboratorio de Física.

- **Evaluación del rendimiento del prototipo mediante la realización de pruebas de funcionamiento.**

Parámetros de evaluación del prototipo

La Tabla 12 presenta los parámetros energéticos, operativos y de seguridad obtenidos durante la etapa de verificación inicial del prototipo. Estos valores permitieron confirmar la estabilidad del sistema antes de proceder con las pruebas de carga.

Tabla 12

Parámetros de evaluación del sistema automatizado de carga

Categoría	Parámetro evaluado	Valor obtenido
Parámetros energéticos	Producción efectiva del panel solar	38–42 W
	Energía útil almacenada en la batería de 12 V	280 Wh
	Tensión regulada del Buck converter	5.02 ± 0.03 V
	Tensión regulada del Boost converter	9.01 ± 0.05 V
Parámetros de operación automatizada	Tiempo de respuesta del módulo de relés	10 ms
	Secuencia de conmutación sin solapamiento	100 % de efectividad
	Estabilidad de señales lógicas del Arduino UNO	Sin fluctuaciones registradas
Parámetros de seguridad	Activación del fusible en condición de sobrecorriente	Correcta (1 prueba controlada)
	Estado térmico de convertidores y cableado	Sin sobrecalentamientos
	Integridad de conexiones eléctricas	Sin cortocircuitos ni falsos contactos

Los resultados confirmaron que el sistema operaba con estabilidad energética y adecuada respuesta del sistema de automatización. Asimismo, los mecanismos de protección funcionaron correctamente, garantizando condiciones seguras para continuar con las pruebas experimentales.

Verificación de tensiones antes de las pruebas

La Tabla 13 presenta los valores de tensión verificados en cada una de las etapas del sistema antes de iniciar las pruebas de carga. Esta comprobación permitió asegurar que los subsistemas se encontraban operativos, con estabilidad eléctrica y dentro de los rangos establecidos para el funcionamiento seguro del prototipo.

Tabla 13

Verificación de tensiones antes de las pruebas

Etapas del sistema	Valor esperado	Valor medido
Línea principal (batería 12 V)	12 V	12.41 V
Buck converter	5 V	5.02 V
Boost converter	9 V	9.01 V
TP4056 (entrada)	5 V	5.01 V

Nota. Los valores obtenidos confirman que el sistema se encontraba en condiciones adecuadas para iniciar las pruebas de carga. Las tensiones medidas se mantuvieron dentro del margen esperado, y no se detectaron fallas en la comunicación ni en las conexiones eléctricas, lo cual garantizó un entorno seguro y estable para la evaluación experimental del prototipo.

Carga de baterías de 9 V

Las Tablas 14 y 15, junto con las Figuras 39 y 40, presentan los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales de carga de baterías recargables de 9 V utilizando el sistema automatizado desarrollado. Estas evaluaciones permiten analizar el comportamiento del convertidor Boost, la estabilidad del proceso de carga y la recuperación de baterías en distintos niveles de descarga

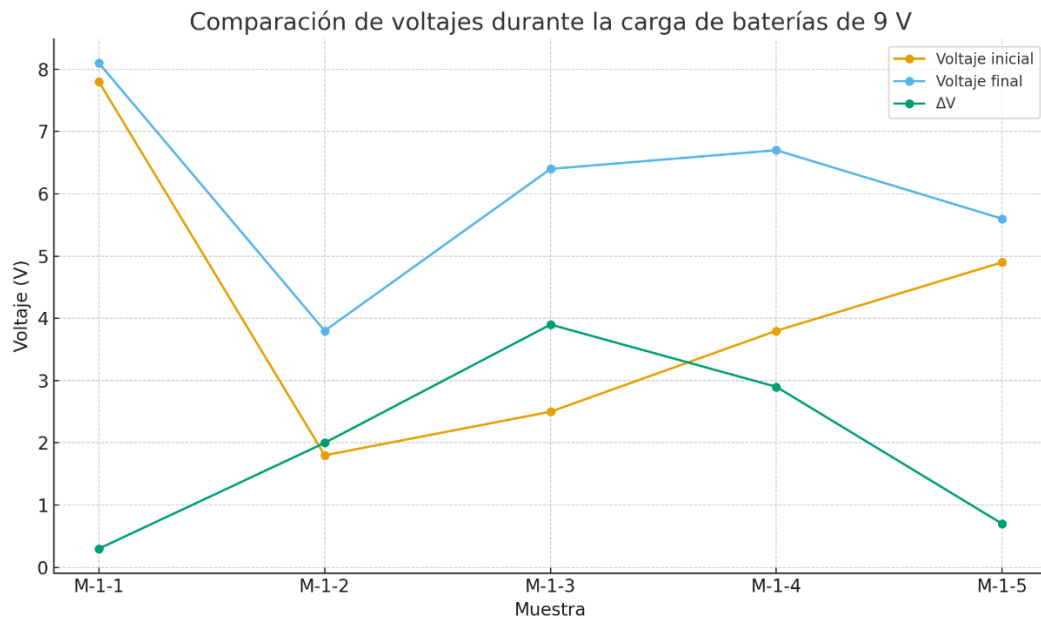
Tabla 14

Resultados de carga (9:27–9:32 h)

Muestra	Voltaje inicial	Voltaje final	ΔV
M-1-1	7.8	8.1	0.3
M-1-2	1.8	3.8	2.0
M-1-3	2.5	6.4	3.9
M-1-4	3.8	6.7	2.9
M-1-5	4.9	5.6	0.7

Figura 39

Comportamiento del voltaje durante la carga – Sesión 1

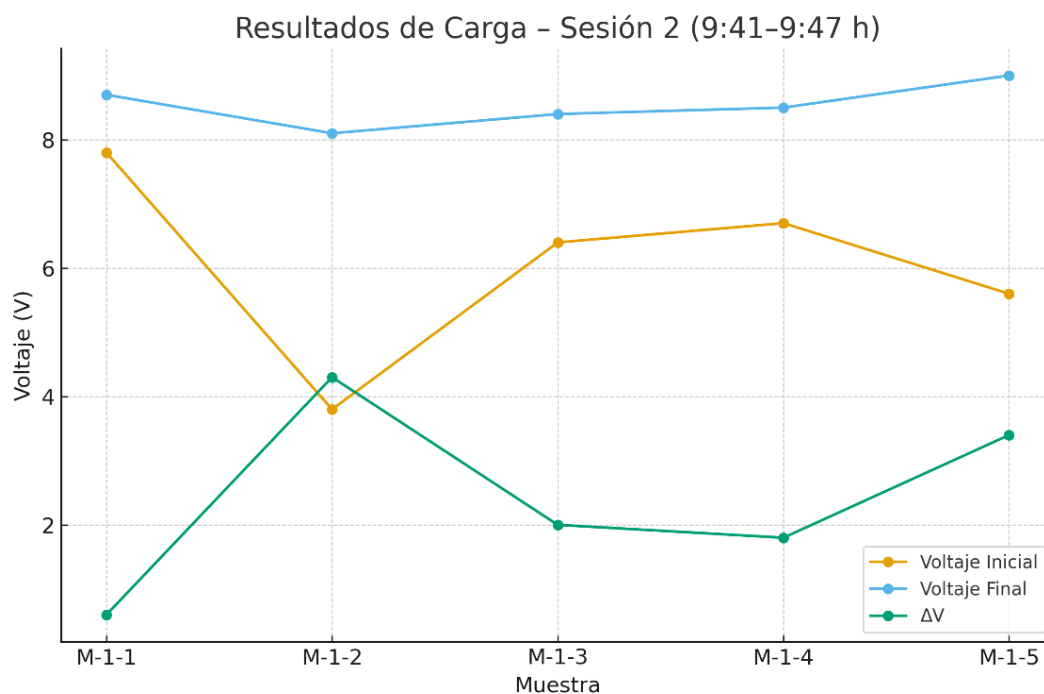


Las baterías con mayor descarga inicial mostraron los incrementos de voltaje más altos, lo cual es coherente con la fase de corriente constante (CC) del proceso de carga. Por el contrario, las baterías con voltajes de entrada más elevados experimentaron incrementos moderados, reflejando la transición hacia la etapa de voltaje constante (CV).

Tabla 15*Resultados de carga (9:41–9:47 h)*

Muestra	Voltaje inicial	Voltaje final	ΔV
M-1-1	8.1	8.7	0.6
M-1-2	3.8	8.1	4.3
M-1-3	6.4	8.4	2
M-1-4	6.7	8.5	1.8
M-1-5	5.6	9	3.4

Las baterías alcanzaron valores cercanos al límite superior permitido (8.4-9.0 V), lo que evidencia una adecuada regulación del convertidor Boost.

Figura 40*Comportamiento del voltaje durante la carga – Sesión 2*

Las baterías alcanzaron valores cercanos al límite superior permitido (8.4-9.0 V), lo que evidencia un desempeño adecuado del convertidor Boost al mantener un nivel de tensión estable y suficiente para garantizar la culminación apropiada del proceso de carga. En esta sesión, incluso las baterías con mayores niveles de descarga lograron alcanzar su voltaje nominal, demostrando consistencia en la regulación del sistema.

Verificación de tensiones antes de las pruebas

La Tabla 16 y la Figura 41 presentan los resultados del proceso de carga realizado sobre seis baterías de celular alimentadas desde el sistema fotovoltaico automatizado. Esta evaluación permitió verificar la estabilidad del suministro energético y el comportamiento del sistema bajo condiciones de carga múltiple.

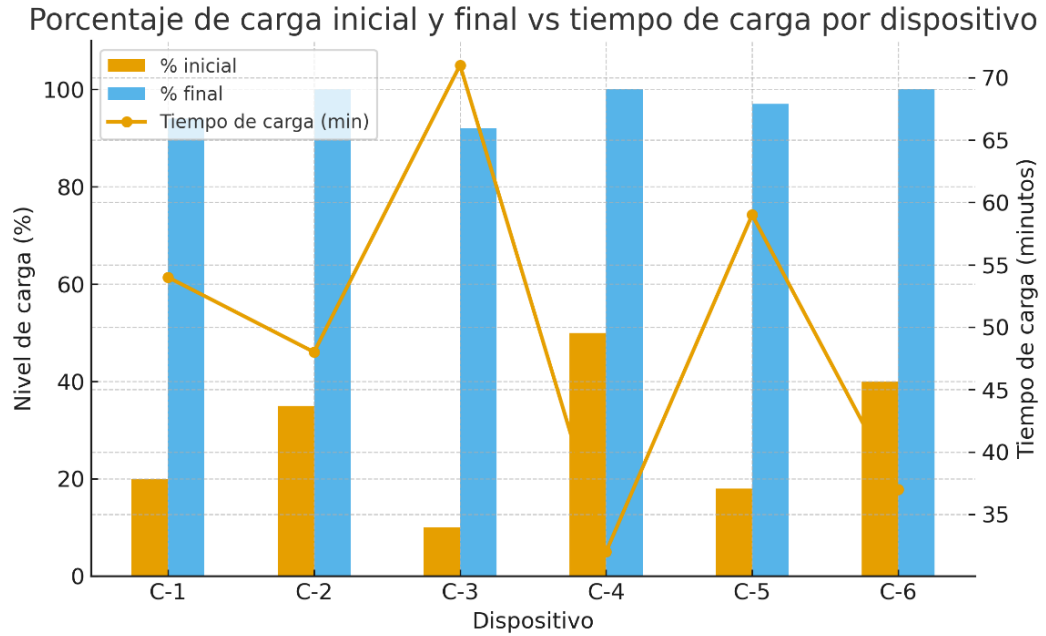
Tabla 16

Carga de baterías de celular

Dispositivo	% inicial	% final	Tiempo de carga
C-1	20%	94%	54 min
C-2	35%	100%	48 min
C-3	10%	92%	71 min
C-4	50%	100%	32 min
C-5	18%	97%	59 min
C-6	40%	100%	37 min

Figura 41

Carga de baterías de celular



Los resultados evidencian que el sistema proporcionó un suministro estable de 5 V durante todo el proceso de carga. Los tiempos registrados entre 32 y 71 minutos, son consistentes con el consumo típico de baterías de celulares, asimismo, el sistema soportó la carga simultánea de múltiples dispositivos sin presentar caídas de tensión, fluctuaciones en el regulador Buck ni fallos en la conmutación de los relés. Estos resultados confirman la capacidad del prototipo para atender cargas portátiles de manera eficiente y confiable en condiciones reales de operación.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la implementación del prototipo automatizado de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica demuestran su viabilidad técnica y operativa, y permiten establecer una relación directa con los antecedentes presentados en esta investigación. A nivel internacional, Rodríguez y Woocay (2019) demostraron que es posible desarrollar sistemas fotovoltaicos de bajo costo con monitoreo de variables eléctricas mediante microcontroladores, obteniendo mediciones con un margen de error menor al 5 %. Los hallazgos de este estudio coinciden con lo observado en el presente proyecto, donde el uso de Arduino UNO, módulos TP4056 y convertidores DC-DC permitió un control estable del proceso de carga, garantizando niveles seguros de voltaje para las baterías de 3.7 V y 9 V. Asimismo, la estructura modular del sistema confirma la flexibilidad de esta tecnología para aplicaciones educativas y experimentales.

De igual manera, investigaciones como las de Acevedo Paredes (2019) y Rosales Pérez (2019) evidenciaron la utilidad de sistemas fotovoltaicos autónomos para la carga de dispositivos portátiles en entornos rurales y académicos. En ambos casos, los sistemas fueron capaces de abastecer demandas energéticas moderadas mediante paneles de baja potencia, lo cual se observa también en este prototipo, donde el panel solar de 40 W y la batería de 12 V y 25 Ah superaron satisfactoriamente la demanda ajustada de 100.13 Wh/día. Esto confirma que, cuando se realiza un dimensionamiento adecuado, los sistemas fotovoltaicos de pequeña escala pueden cubrir cargas recurrentes con eficiencia y estabilidad.

A nivel nacional, Armas y Cotrado (2023) demostraron que la optimización del proceso de captación solar mediante seguimiento aumenta hasta en 43 % la energía disponible. Si bien el presente prototipo no incorpora un seguidor solar, la irradiancia promedio anual de 4.29 kWh/m²/día en Jaén permitió validar que incluso con panel fijo es posible obtener suficiente energía para la carga de múltiples baterías. Este comportamiento confirma la pertinencia de

sistemas solares estacionarios en aplicaciones educativas, especialmente cuando la simplicidad del montaje es una ventaja prioritaria.

Investigaciones como las de Presentación Mejía (2022) y San Miguel Caballa (2019) resaltan la importancia de la correcta regulación de corriente y voltaje para proteger baterías en sistemas fotovoltaicos. Los resultados obtenidos en el prototipo coinciden plenamente con estas conclusiones, ya que la integración de un controlador PWM, un fusible de protección y convertidores reguladores permitió evitar sobrecargas y mantener niveles estables de operación, evidenciando que el empleo de componentes adecuados garantiza la seguridad y longevidad del sistema.

Finalmente, los antecedentes locales, como el estudio de Mancilla Altamirano y Pardo Pinedo (2020), mostraron que los sistemas fotovoltaicos implementados en instituciones educativas de Jaén funcionan de manera eficaz para la carga de dispositivos móviles, siempre que se considere la irradiancia de la zona y se seleccionen adecuadamente los componentes. Los resultados del presente proyecto confirman estas observaciones, pues el desempeño del prototipo se mantuvo estable durante las pruebas, demostrando que los sistemas fotovoltaicos de baja potencia son especialmente adecuados para atender demandas energéticas dentro de laboratorios universitarios.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se implementó el prototipo de sistema de carga de baterías alimentado por energía fotovoltaica, demostrando ser técnica y operativamente viable para cubrir la demanda energética del Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Jaén.
- Se determinó adecuadamente los requerimientos técnicos y funcionales del sistema, identificándose una demanda energética ajustada de 100.13 Wh/día y seleccionándose componentes óptimos.
- Se diseñó el prototipo automatizado de sistema de carga de baterías manera efectiva que comprende al panel fotovoltaico, controlador de carga, batería de respaldo, módulos TP4056, sistema de relés y un microcontrolador Arduino UNO, logrando un sistema de automatización funcional que gestiona correctamente la conmutación y regulación energética para la carga de baterías de celulares y de 9 V.
- Se construyó y se evaluó el prototipo de sistema de carga de baterías, según las pruebas de funcionamiento demostraron que el prototipo opera con estabilidad, manteniendo valores de carga dentro de rangos seguros y suministrando energía suficiente para cubrir y superar la demanda diaria.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros tesisistas de la UNJ, continuar fortaleciendo la infraestructura de los Laboratorios mediante la integración de más sistemas fotovoltaicos y módulos de automatización, de manera que el prototipo desarrollado pueda escalarse y convertirse en una estación permanente de experimentación en energías renovables.
- Se sugiere a las autoridades universitarias implementar una estación meteorológica para el monitoreo continuo de los niveles de irradiancia y demanda energética, con el fin de actualizar periódicamente el dimensionamiento del sistema y garantizar su óptimo funcionamiento frente a variaciones climáticas o incrementos en el uso de equipos didácticos.
- Se recomienda a los investigadores de la UNJ implementar mejoras en el diseño del sistema, como incorporar sensores adicionales de corriente, temperatura y estado de carga, así como explorar la integración de controladores MPPT para aumentar la eficiencia global del prototipo.
- Se sugiere a los tesisistas de la UNJ realizar estudios experimentales prolongados, tanto en condiciones ideales como en escenarios de baja irradiancia, con el fin de evaluar la durabilidad de los componentes, identificar posibles pérdidas energéticas y establecer protocolos de mantenimiento preventivo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo Paredes, J. A. (2019). *Prototipo de un sistema electrónico para el ahorro de energía eléctrica en una vivienda rural usando energía solar con alimentación en corriente continua* [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca].

Armas, J., & Cotrado, R. (2023). *Diseño e implementación de un sistema seguidor solar para la optimización de la carga en un acumulador de energía usando paneles solares* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Perú].

González, R., Martínez, L., & Torres, P. (2019). Integración de energías renovables en laboratorios universitarios y su impacto en la formación ingenieril. *Revista Latinoamericana de Educación en Ingeniería*, 14(2), 45–58.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewable power generation costs in 2019*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

Mancilla Altamirano, J., & Pardo Pinedo, D. (2020). *Diseño a escala de un sistema fotovoltaico con seguidor solar para la carga de baterías de dispositivos portátiles en la UAP–Jaén* [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas].

National Aeronautics and Space Administration. (2023). *NASA POWER data access viewer*. <https://power.larc.nasa.gov/>

- Presentación Mejía, R. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de respaldo de energía eléctrica en un centro de operaciones de red en la provincia de Huancayo* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Rodríguez, J., & Woocay, L. (2019). Diseño de un sistema de monitoreo, control y adquisición de parámetros característicos de módulos fotovoltaicos de bajo costo basado en Arduino-Octave. *Pistas Educativas*, 41(134). <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- Rosales Pérez, M. (2019). *Diseño y construcción de una estación de carga de celulares mediante paneles solares fotovoltaicos* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte].
- San Miguel Caballa, J. C. (2019). *Diseño de un cargador de baterías de 12 voltios haciendo uso de un panel fotovoltaico aplicado en zonas rurales* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Tamayo López, A. A. (2019). *Diseño de un cargador solar para atender la demanda de carga eléctrica de dispositivos móviles en la Universidad Tecnológica del Perú – Filial Arequipa* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú].

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a Dios por guiarnos y darnos la fortaleza necesaria para culminar este trabajo de investigación. Nuestro sincero agradecimiento se extiende a nuestros asesores, el Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez y el Mg. Frans Fuentes Maza, por su orientación, dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de este proyecto. Asimismo, expresamos nuestra gratitud a la Universidad Nacional de Jaén y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por brindarnos el espacio, los recursos y la formación que hicieron posible esta investigación. Finalmente, agradecemos de manera especial a nuestras familias, quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y motivación constante han sido el pilar fundamental para alcanzar este logro académico.

DEDICATORÍA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes con su amor, esfuerzo y acompañamiento han sido la fuerza que nos impulsó a perseverar en cada etapa de este camino académico. A nuestros padres, por enseñarnos el valor del trabajo y la responsabilidad; a nuestros hermanos, por su apoyo constante; y a todas las personas que creyeron en nosotros y nos alentaron a seguir adelante. Este logro no solo nos pertenece, sino que es también fruto de su confianza y cariño.

ANEXOS

Anexo 1

Código y Programación – Sistema de Carga Fotovoltaico (Arduino UNO)

```
5. // Pines para los 6 relays
6. const int relayPins[] = {2, 3, 4, 5, 6, 7};
7. const int numRelays = 6;
8.
9. bool relayState = false;
10. unsigned long previousTime = 0;
11.
12. // CAMBIA ESTOS 2 NÚMEROS POR LOS MINUTOS QUE QUIERAS
13. const int minutosNC = 6; // 1 MINUTO en NC
14. const int minutosNO = 15; // 2 MINUTOS en NO
15.
16. const unsigned long timeNC = minutosNC * 60 * 1000UL;
17. const unsigned long timeNO = minutosNO * 60 * 1000UL;
18.
19. void setup() {
20.   for (int i = 0; i < numRelays; i++) {
21.     pinMode(relayPins[i], OUTPUT);
22.     digitalWrite(relayPins[i], HIGH);
23.   }
24.
25.   Serial.begin(9600);
26.   Serial.println(" Sistema listo - Tiempos en minutos");
27.   Serial.print("NC: "); Serial.print(minutosNC); Serial.println(" min");
28.   Serial.print("NO: "); Serial.print(minutosNO); Serial.println(" min");
29. }
30.
31. void loop() {
32.   unsigned long currentTime = millis();
33.
34.   if (!relayState && (currentTime - previousTime >= timeNC)) {
35.     toggleAllLights();
36.     previousTime = currentTime;
37.   } else if (relayState && (currentTime - previousTime >= timeNO)) {
38.     toggleAllLights();
39.     previousTime = currentTime;
40.   }
41. }
42.
43. void toggleAllLights() {
44.   relayState = !relayState;
45.
46.   for (int i = 0; i < numRelays; i++) {
47.     digitalWrite(relayPins[i], relayState ? LOW : HIGH);
48.   }
49.
50.   if (relayState) {
51.     Serial.print(" ACTIVADO - NO (");
```

```
52.     Serial.print(minutosNO);
53.     Serial.println(" min");
54. } else {
55.     Serial.print(" DESACTIVADO - NC (");
56.     Serial.print(minutosNC);
57.     Serial.println(" min");
58. }
59. }
```