

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIBLIOTECA DIGITAL MÓVIL
ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA
PROMOVER EL ACCESO A RECURSOS EDUCATIVOS EN ÁREAS
REMOTAS, 2023”**

**Bach. Moises Bustinza Chipana
Bach. Angel Wilfredo Alanoca Condori**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

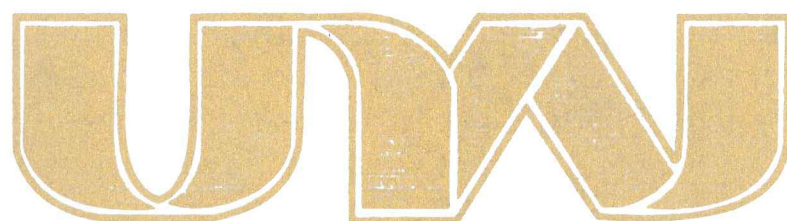
**Asesor:
Dr. Henry Pizarro Viveros
Co-asesor:
M.Sc. Luz Elizabeth Huanchi Mamani**



Juliaca, 2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIBLIOTECA DIGITAL MÓVIL
ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA
PROMOVER EL ACCESO A RECURSOS EDUCATIVOS EN ÁREAS
REMOTAS, 2023”**

**Bach. Moises Bustinza Chipana
Bach. Angel Wilfredo Alanoca Condori**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor:
Dr. Henry Pizarro Viveros
Co-asesor:
M.Sc. Luz Elizabeth Huanchi Mamani**



Juliaca, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIBLIOTECA DIGITAL MÓVIL
ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA
PROMOVER EL ACCESO A RECURSOS EDUCATIVOS EN ÁREAS
REMOTAS, 2023”**

Bach. Moises Bustinza Chipana

Bach. Angel Wilfredo Alanoca Condori

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

Co-asesor:

M.Sc. Luz Elizabeth Huanchi Mamani

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Bustinza, M., & Alanoca, A. (2025). *Implementación de una biblioteca digital móvil abastecida con energía solar fotovoltaica para promover el acceso a recursos educativos en áreas remotas, 2023*.

(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Moises Bustinza Chipana, Angel Wilfredo Alanoca Condori

Título: Implementación de una biblioteca digital móvil abastecida con energía solar fotovoltaica para promover el acceso a recursos educativos en áreas remotas, 2023

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (154 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 02-000047-02/B95

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros

Co - asesor: M.Sc. Luz Elizabeth Huanchi Mamani

Palabras clave: Acceso a recursos educativos; biblioteca digital móvil; energías renovables; monitoreo energético; sistema fotovoltaico autónomo; comunidades rurales; Internet de las cosas (IoT).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
“IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIBLIOTECA DIGITAL MÓVIL ABASTECIDA
CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PROMOVER EL ACCESO A
RECURSOS EDUCATIVOS EN ÁREAS REMOTAS, 2023”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentada por:

Bach. Moises Bustinza Chipana

Bach. Angel Wilfredo Alanoca Condori

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

PRESIDENTE DE JURADO



1° MIEMBRO

Mg. Armando Antonio Salinas del Carpio

JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

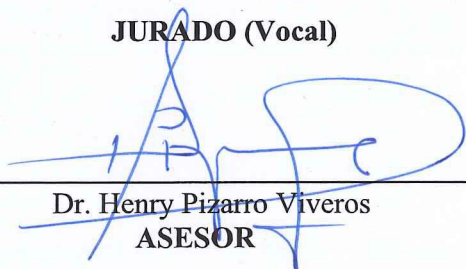
Mg. Alex Mario Lerma Coaquira

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO

Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR



M.Sc. Luz Elizabeth Huanchi Mamani
CO ASESOR



Moises Bustinza Chipana Angel Wilfredo Alanoca C...

IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIBLIOTECA DIGITAL MÓVIL ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA P...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:535997114

Fecha de entrega

3 dic 2025, 4:25 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 dic 2025, 4:58 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR DE TESIS FORMATO (2).pdf

Tamaño del archivo

11.5 MB

152 páginas

42.198 palabras

207.826 caracteres


Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR




7% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  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 revisarlo.

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



Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedicamos este trabajo de investigación a nuestros padres: Mauro, Eva, Genovia y Moisés, quienes con su esfuerzo, valores y ejemplo nos han guiado en el camino de la vida. Gracias a su apoyo incondicional hemos encontrado la fortaleza necesaria para alcanzar este logro académico.

A nuestros familiares, por acompañarnos siempre con su cariño y sabiduría, y ser parte fundamental de nuestra formación como personas.

A nuestros hermanos, quienes nos inspiran a seguir adelante y nos brindan aliento constante para no rendirnos ante las dificultades.

Y finalmente, nos lo dedicamos a nosotros mismos, porque este esfuerzo representa la constancia y la perseverancia que hemos puesto en cada paso, siendo este logro una meta cumplida y el inicio de muchas más que vendrán.

Con todo nuestro esfuerzo y dedicación,

Angel W. Alanoca y Moises Bustinza

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expresamos nuestro profundo agradecimiento a Dios, por concedernos la vida, la salud y la fortaleza necesarias para perseverar en cada etapa de nuestra formación, así como por colmarnos de sabiduría y bendiciones que nos guiaron hasta la culminación de este logro académico.

Nuestro sincero reconocimiento a la Universidad Nacional de Juliaca, por acogernos en su prestigiosa casa de estudios y brindarnos el espacio donde pudimos desarrollar nuestras capacidades y consolidar nuestra vocación profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables y a cada uno de sus docentes, por la enseñanza impartida con dedicación y compromiso, la cual ha sido clave en nuestra formación integral y seguirá siendo guía en nuestro ejercicio profesional.

De manera especial, expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestros asesores, Dr. Henry Pizarro Viveros y Mg. Luz Elizabeth Huanchi Mamani, por su orientación, confianza y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

Con cariño y gratitud, dedicamos un reconocimiento muy especial a nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y aliento en los momentos de mayor exigencia. Su presencia constante ha sido la mayor motivación para alcanzar este objetivo.

Finalmente, a nuestros amigos, quienes, con su compañía, apoyo y palabras de aliento, también contribuyeron a que este camino académico se convierta en una experiencia más enriquecedora y significativa.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ACRÓNIMOS.....	xiv
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema.....	19
1.2 Formulación del problema de investigación.....	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos.....	20
1.3 Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 Justificación de la investigación.....	21
1.4.1 Justificación técnica.....	21
1.4.2 Justificación social.....	22
1.4.3 Justificación ambiental.....	22
1.4.4 Justificación económica.....	23
1.5 Marco metodológico.....	23
1.5.1 Tipo y nivel de investigación.....	23
1.5.2 Enfoque de la investigación.....	24
1.5.3 Diseño de la investigación.....	24
1.5.4 Población y muestra.....	24
1.5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	Antecedentes del problema de investigación	25
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2	Antecedentes nacionales	27
2.1.3	Antecedentes regionales	28
2.2	Marco teórico	30
2.2.1	Bibliotecas digitales móviles	30
2.2.2	Sistemas fotovoltaicos autónomos.....	31
2.2.3	Corriente continua en sistemas educativos	32
2.2.4	Monitoreo energético con microcontroladores (IoT).....	33
2.2.5	Acceso a TIC y brecha digital rural	35
2.2.6	Normativa nacional para instalaciones fotovoltaicas	35
2.3	Marco conceptual	39
2.3.1	Energía Solar	39
2.3.2	Celda fotovoltaica	40
2.3.3	Radiación solar	41
2.3.4	Unidades de radiación solar	41
2.3.5	Módulos fotovoltaicos	42
2.3.6	Angulo de inclinación y orientación de un módulo fotovoltaico	46
2.3.7	Baterías	47
2.3.8	Controladores de carga	48
2.3.9	Convertidor DC-DC.....	48
2.3.10	Interruptores termomagnéticos DC.....	49
2.3.11	Interruptor diferencial	51
2.3.12	Porta fusibles	53
2.3.13	Fusibles	54
2.3.14	Tablero de protección	55
2.3.15	Conexión a masa en un microbús	55
2.3.16	Medición de datos	56
2.3.17	Monitoreo	56

2.3.18 Cargas en DC.....	57
2.3.19 Programa calibre.....	57
2.3.20 Pasos a considerar en el diseño del sistema fotovoltaico autónomo.....	59
2.3.21 Estimación del consumo.....	60
2.3.22 Angulo de inclinación.....	60
2.3.23 Diseño generador fotovoltaico.....	61
2.3.24 Dimensionamiento de la capacidad de la batería.....	62
2.3.25 Horas de autonomía de batería.....	62
2.3.26 Dimensionamiento del regulador.....	63
2.3.27 Sección de los cables.....	63
2.3.28 Soporte universal para módulos fotovoltaicos.....	64
2.3.29 Diseño tipo estático.....	65

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de hipótesis.....	66
3.1.1 Hipótesis general.....	66
3.1.2 Hipótesis específicas.....	66
3.2 Materiales y equipos utilizados.....	66
3.2.1 módulo fotovoltaico.....	66
3.2.2 Batería de ciclo profundo.....	67
3.2.3 Controlador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	68
3.2.4 Convertidores DC–DC.....	68
3.2.5 Sensores de monitoreo.....	69
3.2.6 ESP32.....	69
3.2.7 Multiplexor I2C (TCA9548A).....	70
3.3 Metodología de la investigación.....	70
3.3.1 Ámbito de estudio.....	70
3.4 Tipo, nivel y diseño de investigación.....	71
3.4.1 Tipo de investigación.....	71
3.4.2 Nivel de investigación.....	72
3.4.3 Diseño de la investigación.....	72

3.4.4	Población y muestra.....	72
3.5	Equipos utilizados y procedencia de los recursos	72
3.6	Diseño de estructura.....	73
3.7	Cálculo de demanda energética.....	73
3.7.1	Cálculo de la demanda energética diaria:	74
3.8	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo	74
3.8.1	Cálculo de la potencia del módulo fotovoltaico	74
3.8.2	Cálculo de la capacidad de la batería.....	75
3.8.3	Cálculo del controlador de carga	76
3.8.4	Equipos de monitoreo energético y validación.....	76
3.8.5	Dimensionamiento de la sección de los cables.....	77
3.8.6	Datos del sistema	77
3.8.7	Sección de cable entre el módulo fotovoltaico y el controlador MPPT	77
3.8.8	Sección de cable entre el controlador MPPT y la batería:	78
3.8.9	Sección de cable entre el controlador MPPT y los convertidores DC-DC:.....	78
3.8.10	Sección de cable entre el convertidor DC-DC y las PCs.....	78
3.8.11	Fusibles:	79
3.8.12	Interruptores termomagnéticos:	80
3.8.13	Iluminación	80
3.8.14	Tablero de protección IP66.....	81
3.9	Adaptación de alimentación a corriente continua	82
3.9.1	Distribución interior y acondicionamiento ergonómico	82
3.10	Instalación y acondicionamiento del microbús	83
3.11	Esquemas eléctricos	87
3.12	Presupuesto	92

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1	Resultados de la demanda energética.....	95
4.1.1	Elección de los Equipos:.....	95
4.2	Adaptación del sistema de sistema de alimentación de los equipos	98
4.2.1	Pruebas de funcionamiento en laboratorio	98

4.3	Acondicionamiento y amoblamiento del interior del microbús	99
4.4	Instalación de equipos tecnológicos.....	99
4.5	Resultados del monitoreo de funcionamiento adecuado.....	102
4.5.1	Consumo promedio horario de corriente y potencia de las 10 PCs.....	102
4.5.2	Consumo energético del sistema durante el periodo de monitoreo	104
4.5.3	Evolución temporal del consumo eléctrico en 10 PCs	105
4.5.4	Corriente de arranque	107
4.6	Discusiones de los resultados.....	108
4.6.1	Demanda energética y dimensionamiento del sistema	108
4.6.2	Eficiencia y fiabilidad del controlador MPPT	108
4.6.3	Estabilidad en el Suministro Energético y el Uso de Convertidores DC-DC....	109
4.6.4	Monitoreo energético y análisis de datos reales	109
4.6.5	Estabilidad en el consumo de energía y comportamiento de las PCs.....	109
4.6.6	Corriente de arranque y pico de consumo	109

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	110
5.2	Recomendaciones.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		112
ANEXOS		119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Cuadro de cargas.</i>	74
Tabla 2 <i>Presupuesto.</i>	93
Tabla 3 <i>Resumen de la demanda energética.</i>	95
Tabla 4 <i>Presenta los valores promedio obtenidos en cada intervalo horario.</i>	103
Tabla 5 <i>Consumo energético promedio horario de las 10 PCs.</i>	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Biblioteca digital móvil.</i>	30
Figura 2 <i>Diseño del sistema fotovoltaico autónomo.</i>	32
Figura 3 <i>Circuito del sistema de instalación.</i>	33
Figura 4 <i>Sistema de recolección de datos.</i>	34
Figura 5 <i>Proceso básico de conversión de energía a energía eléctrica.</i>	39
Figura 6 <i>Teoría de la celda fotovoltaica.</i>	40
Figura 7 <i>Tipos de radiación sobre una superficie.</i>	41
Figura 8 <i>Concepto de irradiancia (W/m^2) e irradiación (Wh/m^2) de un día de medición de la ciudad de Málaga – España.</i>	42
Figura 9 <i>Tipo de materiales de celdas solares.</i>	43
Figura 10 <i>Módulo fotovoltaico monocristalino adaptado.</i>	44
Figura 11 <i>Módulo fotovoltaico policristalino adaptado.</i>	45
Figura 12 <i>Funcionamiento de una célula tradicional y PERC adaptado.</i>	46
Figura 13 <i>Ángulo de inclinación y orientación de módulos fotovoltaicos.</i>	47
Figura 14 <i>Batería para sistemas fotovoltaicos.</i>	47
Figura 15 <i>Controladores de carga.</i>	48
Figura 16 <i>Convertidor DC-DC.</i>	49
Figura 17 <i>Interruptor termomagnético DC.</i>	51
Figura 18 <i>Interruptor diferencial.</i>	53
Figura 19 <i>Porta fusibles.</i>	53
Figura 20 <i>Fisibles cilíndricos.</i>	54
Figura 21 <i>Tablero de protección.</i>	55
Figura 22 <i>Conexión a masa.</i>	56
Figura 23 <i>Cargas en corriente continua.</i>	57

Figura 24	<i>Pasos para el diseño del sistema fotovoltaico.</i>	60
Figura 25	<i>Soporte universal para módulos fotovoltaicos.</i>	64
Figura 26	<i>Sistema fotovoltaico.</i>	65
Figura 27	<i>Especificaciones del módulo fotovoltaico 550W.</i>	67
Figura 28	<i>Batería leoch 150Ah.</i>	67
Figura 29	<i>Controlador MPPT 40.</i>	68
Figura 30	<i>Convertidor DC – DC.</i>	69
Figura 31	<i>Sensor INA219.</i>	69
Figura 32	<i>Microcontrolador ESP32.</i>	70
Figura 33	<i>Multiplexor I2C (TCA9548A).</i>	70
Figura 34	<i>Sede de la UNAJ en Ayabacas y localización del lugar del proyecto.</i>	71
Figura 35	<i>Diseño de la estructura para el soporte del módulo fotovoltaico.</i>	73
Figura 36	<i>Esquema unifilar del sistema fotovoltaico autónomo en corriente continua (DC).</i>	79
Figura 37	<i>Distribución interior del microbús educativo digital.</i>	82
Figura 38	<i>Estado inicial del microbús con grietas en las uniones estructurales.</i>	84
Figura 39	<i>Soldadura y reparación de partes estructurales para asegurar la estabilidad del vehículo.</i>	84
Figura 40	<i>Pintura del interior del microbús para mejorar la estética y protección contra corrosión.</i>	85
Figura 41	<i>Instalación de alfombra en el piso para mejorar el aislamiento térmico.</i>	85
Figura 42	<i>Reparación y adaptación de las mesas para colocar teclado y mouse de las PCs en ambos lados del microbús.</i>	86
Figura 43	<i>Instalación de cortinas en las ventanas para proporcionar privacidad y mejorar el confort.</i>	86
Figura 44	<i>Instalación del módulo fotovoltaico en el techo del microbús para captar energía solar.</i>	87
Figura 45	<i>Plano de distribución de los equipos.</i>	87

Figura 46 <i>Plano de montaje.</i>	88
Figura 47 <i>Plano eléctrico.</i>	89
Figura 48 <i>Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.</i>	90
Figura 49 <i>Esquema de conexión del ESP32, multiplexor I2C, sensores INA219 y PCs.</i>	91
Figura 50 <i>Diagrama unifilar de todo el conexionado.</i>	92
Figura 51 <i>Prueba de funcionamiento de las 10 PCs alimentadas por 9 módulo fotovoltaico de 50 W del sistema de bombeo solar.</i>	98
Figura 52 <i>Amoblamiento finalizado al interior del microbús.</i>	99
Figura 53 <i>La instalación de las 10 PCs se realizó con 5 unidades en cada lado del interior del microbús, asegurando su distribución equitativa.</i>	100
Figura 54 <i>El sensor INA219 está instalado en serie en el lado positivo de cada PC.</i>	100
Figura 55 <i>Conexión del sistema de monitoreo.</i>	101
Figura 56 <i>Tablero de distribución eléctrica.</i>	102
Figura 57 <i>Potencia Nominal vs Potencia real.</i>	104
Figura 58 <i>Comportamiento de la corriente en función al tiempo.</i>	106
Figura 59 <i>Comportamiento de la potencia en función al tiempo.</i>	107
Figura 60 <i>Corriente de arranque.</i>	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos I <i>Tabla para dimensionamiento óptimo de conductores en DC</i>	120
Anexos II <i>Intensidad máxima admisible en cables eléctricos para conexionado de placas o módulos fotovoltaicos</i>	121
Anexos III <i>Datasheet del interruptor diferencial</i>	121
Anexos IV <i>Iluminación de interiores para edificios educacionales norma EM 010</i>	123
Anexos V <i>Ficha técnica del módulo fotovoltaico</i>	124
Anexos VI <i>Ficha técnica del convertidor DC-DC 30A</i>	125
Anexos VII <i>Ficha técnica del convertidor DC-DC 40A</i>	126
Anexos VIII <i>Ficha técnica de la batería</i>	127
Anexos IX <i>Ficha técnica del controlador</i>	128
Anexos X <i>Ficha técnica del Esp32</i>	130
Anexos XI <i>Ficha técnica de la PC</i>	130
Anexos XII <i>Modulo fotovoltaico del bombeo de laboratorio de fotovoltaico</i>	131
Anexos XIII <i>Pruebas en el laboratorio de 10 PCs</i>	131
Anexos XIV <i>Acondicionamiento del microbús interior y exterior</i>	131
Anexos XV <i>Proceso de pintado del exterior microbús</i>	132
Anexos XVI <i>Funcionamiento de las computadoras con libros preinstalados</i>	132
Anexos XVII <i>Microbús finalizado e instalado el módulo fotovoltaico en el techo</i>	133
Anexos XVIII <i>Datos que muestra el controlador MPPT al medio día</i>	133
Anexos XIX <i>Datos del esp32 1 que es el lado izquierdo del microbús mediciones por minuto en un rango de 5 horas</i>	134
Anexos XX <i>Datos del esp32 2 que es el lado derecho del microbús mediciones por minuto en un rango de 5 horas</i>	138
Anexos XXI <i>Instalación de Software Básico y Creación de Biblioteca Digital de Libros Educativos preinstalado para acceder sin internet</i>	143
Anexos XXII <i>Variedad de libros preinstalados</i>	143

Anexos XXIII <i>Código para el Registro de Datos en Google Sheets desde el ESP32</i>	144
Anexos XXIV <i>Código para el Registro y Envío de Datos de Sensores de Corriente y Potencia a Google Sheets desde el Dispositivo ESP32</i>	145
Anexos XXV <i>Datasheet del interruptor termomagnético</i>	149

ACRÓNIMOS

CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DRE Puno	Dirección Regional de Educación de Puno
FISE	Fondo de Inclusión Social Energético
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INFOABE	Sistema de Información de la Infraestructura Educativa (MINEDU)
MINEDU	Ministerio de Educación del Perú
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú
OLPC	One Laptop Per Child – Organización de laptops educativas de bajo costo
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNAJ	Universidad Nacional de Juliaca
EPIER	Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables
CNE-SES	Código Nacional de Electricidad – Servicio Eléctrico Seguro
CNE-SUA	Código Nacional de Electricidad – Suministro
CNE-U	Código Nacional de Electricidad – Utilización
NTP	Norma Técnica Peruana
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
RSIE	Reglamento de Seguridad Industrial y Energético
CA o AC	Corriente Alterna (Alternating Current)
AWG	American Wire Gauge – Calibre de conductores eléctricos
DC	Corriente Continua (Direct Current)
DDR o RCD	Dispositivo de Corriente Residual (Residual Current Device)
DoD	Profundidad de Descarga (Depth of Discharge)
FV o PV	Fotovoltaico (Photovoltaic)
MCU	Unidad de Microcontrolador (Microcontroller Unit)
MPPT	Seguidor del Punto de Máxima Potencia (Maximum Power Point Tracking)
PERC	Módulo fotovoltaico tipo PERC (Passivated Emitter Rear Cell)
PWM	Modulación por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation)
EPUB	Publicación Electrónica (Electronic Publication)
I2C	Circuito Inter-Integrado (Inter-Integrated Circuit)
IoT	Internet de las Cosas (Internet of Things)
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
Wi-Fi	Red Inalámbrica de Alta Fidelidad (Wireless Fidelity)
XO	Laptop XO del programa OLPC

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la región de Puno, donde las comunidades rurales enfrentan limitaciones en el acceso a recursos educativos debido a la ausencia de infraestructura eléctrica. Frente a esta problemática, se implementó una biblioteca digital móvil alimentada por un sistema fotovoltaico autónomo, instalada en un microbús, concebido para su eventual implementación en zonas remotas, con el propósito de mejorar la disponibilidad de recursos educativos digitales. Se empleó una metodología aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, realizando cálculos energéticos, respetando normativas eléctricas vigentes y empleando herramientas de diseño como AutoCAD. La validación inicial se realizó en el laboratorio de energía fotovoltaica de la UNAJ-EPIER, utilizando un generador de 3 kW de un sistema de bombeo solar. Posteriormente, el sistema fue integrado al microbús, incorporando un módulo fotovoltaico de 550 W, un controlador MPPT de 40 A, una batería de 150 Ah, el sistema de protección en DC, dos convertidores DC-DC para la alimentación de las diez computadoras, ventilación auxiliar y dos módulos de monitoreo basados en ESP32 con cinco sensores INA219 cada uno, con envío de datos en tiempo real a una hoja de cálculo en la nube. Esta configuración permitió evaluar el desempeño del prototipo en condiciones reales. Finalmente, se comprobó que el sistema satisface una demanda energética diaria de 1904 Wh, garantizando su autonomía y estabilidad. En conclusión, el prototipo constituye una alternativa tecnológica sostenible con potencial real para fortalecer la inclusión educativa mediante el uso de energías renovables en contextos rurales.

Palabras clave: Acceso a recursos educativos; biblioteca digital móvil; energías renovables; monitoreo energético; sistema fotovoltaico autónomo; comunidades rurales; Internet de las cosas (IoT).

ABSTRACT

This research was carried out in the Puno region, where rural communities face limitations in access to educational resources due to the lack of electrical infrastructure. In response to this issue, a mobile digital library powered by an autonomous photovoltaic system was implemented in a microbus, designed for eventual deployment in remote areas, with the aim of improving the availability of digital educational resources. An applied methodology with a quantitative approach and non-experimental design was used, conducting energy calculations, adhering to current electrical standards, and using design tools such as AutoCAD. The initial validation was carried out in the photovoltaic energy laboratory of UNAJ-EPIER, using a 3 kW generator from a solar pumping system. Subsequently, the system was integrated into the microbus, incorporating a 550 W photovoltaic module, a 40 A MPPT controller, a 150 Ah battery, a DC protection system, two DC–DC converters to power the ten computers, auxiliary ventilation, and two monitoring modules based on ESP32 with five INA219 sensors each, sending real-time data to a cloud spreadsheet. This configuration allowed the prototype's performance to be evaluated under real conditions. Finally, it was confirmed that the system meets a daily energy demand of 1904 Wh, ensuring its autonomy and stability. In conclusion, the prototype represents a sustainable technological alternative with real potential to strengthen educational inclusion through the use of renewable energy in rural contexts.

Keywords: Access to educational resources; mobile digital library; renewable energy; energy monitoring; autonomous photovoltaic system; rural communities; Internet of Things (IoT).

INTRODUCCIÓN

En el altiplano peruano, especialmente en la región de Puno es común encontrar viviendas rurales, centros poblados con colegios que carecen de servicios básicos esenciales como electricidad, agua potable y desagüe. Según datos recientes del Ministerio de Educación (MINEDU) recopilados por ComexPerú (LosAndes, 2024), solo el 21.2% de las escuelas en la región cuenta con acceso a estos servicios fundamentales, lo que refleja las condiciones precarias en las que cientos de estudiantes desarrollan su aprendizaje en educación básica regular. Esta situación se agrava porque estos colegios tampoco disponen de centros de cómputo y menos acceso a internet ni a tecnologías digitales modernas, herramientas indispensables en la educación contemporánea que está marcada por la creciente presencia de la inteligencia artificial y los recursos virtuales (Minedu & GIZ, 2023).

Esta realidad que tenemos en la región evidencia una profunda brecha educativa y tecnológica que limita las oportunidades de desarrollo educativo y personal de los estudiantes de las zonas altoandinas y rurales. Por tanto, garantizar el acceso a energía eléctrica y consecuentemente acceso a tecnologías digitales en centros de cómputo es un desafío urgente promover la equidad educativa y contribuir al desarrollo social y económico a largo plazo (MINEDU, 2023).

Ante esta problemática, la presente investigación propone una solución innovadora y sostenible: el diseño e implementación de una biblioteca digital móvil alimentada por un sistema fotovoltaico autónomo, capaz de llevar recursos educativos tecnológicos a comunidades sin acceso a electricidad ni conectividad. Este enfoque no solo combate la exclusión digital, sino que impulsa la educación inclusiva y respetuosa con el medio ambiente, promoviendo la autonomía energética mediante el uso de energías renovables. La importancia de este estudio radica en su potencial para ofrecer un modelo replicable que reduzca las desigualdades educativas en zonas rurales y altoandinas del Perú, mejorando la calidad de vida y las oportunidades de miles de estudiantes en contextos vulnerables.

El proyecto fue desarrollado secuencialmente, primero se verificó la viabilidad técnica del sistema, para eso, se acondicionó un prototipo funcional utilizando el generador fotovoltaico de 3 kW disponible en el laboratorio de energía fotovoltaica de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER) de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ). Este generador

fue utilizado como banco de pruebas para validar el comportamiento del sistema, medir la demanda energética de los dispositivos digitales y ajustar los parámetros operativos del sistema aislado en corriente continua (DC). Durante estas pruebas, se evaluaron aspectos cruciales como la capacidad de la batería, la eficiencia del controlador MPPT y la adaptabilidad de los equipos electrónicos a las condiciones específicas de operación en zonas rurales. Las pruebas confirmaron que el sistema es capaz de operar de manera autónoma durante jornadas completas de uso educativo, maximizando la eficiencia y reduciendo costos operativos.

Una vez concluidas las pruebas técnicas en condiciones controladas, se procedió a trasladar e instalar el sistema completo dentro del microbús ubicado en la EPIER, el cual fue adaptado estructural y eléctricamente para su funcionamiento autónomo en campo. Esta biblioteca digital móvil está diseñada para operar en zonas remotas sin acceso a red eléctrica, llevando consigo una propuesta innovadora que integra educación, tecnología y energías limpias, con el objetivo de cerrar la brecha educativa en comunidades vulnerables.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el contexto educativo actual del Perú, especialmente en zonas altoandinas y rurales, persiste una marcada desigualdad en el acceso a recursos educativos y tecnologías digitales. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2023), menos del 45 % de los hogares rurales cuentan con acceso a internet, y solo el 12 % tiene acceso a una computadora funcional. Esta exclusión tecnológica no solo limita la educación formal, sino que también restringe el desarrollo de habilidades digitales esenciales para que los estudiantes puedan competir en un mundo globalizado y digitalizado, lo que perpetúa las desigualdades sociales y económicas. Las comunidades rurales se ven privadas de una educación moderna y de calidad, ya que el acceso a información actualizada, plataformas de aprendizaje virtual, libros digitales y herramientas educativas interactivas es prácticamente inexistente en muchas de ellas.

A esta brecha digital se suma la falta de infraestructura eléctrica en muchas comunidades alejadas. El Ministerio de Energía y Minas (2023) reporta que el índice de electrificación rural alcanza solo el 78.4 % en zonas andinas, lo que impide el uso de equipos informáticos, puntos de conectividad y otros dispositivos electrónicos esenciales para una educación moderna. Además, en aquellas zonas donde sí se cuenta con acceso a electricidad, esta proviene en su mayoría de fuentes no sostenibles como generadores diésel, lo que incrementa los costos operativos y genera impactos ambientales negativos. Esta falta de infraestructura eléctrica adecuada agrava aún más la brecha educativa y dificulta la implementación de nuevas tecnologías en estas comunidades.

Frente a esta problemática, se plantea una solución sostenible y replicable: la implementación de una biblioteca digital móvil, instalada en un microbús y equipada con computadoras y dispositivos digitales, alimentados por un sistema de energía solar fotovoltaica autónoma. Esta propuesta se alinea con los principios de equidad, sostenibilidad y autonomía energética, pues permite llevar educación digital a zonas que no están conectadas a la red eléctrica. El sistema fotovoltaico fue dimensionado cuidadosamente para garantizar la autonomía del microbús, utilizando una batería de 150 Ah, la cual proporciona almacenamiento suficiente para operar

durante el día, incluso cuando las horas de sol son limitadas. Esto asegura que el sistema pueda mantenerse operativo en condiciones extremas sin depender de generadores diésel, haciendo el proyecto no solo más económico a largo plazo, sino también más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.2 Formulación del problema de investigación

Bajo las condiciones expuestas se plantea las siguientes interrogantes de investigación:

1.2.1 Problema general

¿La implementación de una biblioteca digital móvil en un microbús, abastecida con energía solar fotovoltaica autónoma, permitirá promover el acceso sostenible a recursos educativos digitales en áreas rurales y de difícil acceso?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la demanda energética máxima que debe cubrir el sistema fotovoltaico autónomo para alimentar adecuadamente la biblioteca digital móvil y sus dispositivos?
- ¿Qué modificaciones se requieren en el sistema de alimentación de las computadoras y otros equipos para permitir un suministro eficiente en corriente continua (DC)?
- ¿Qué adaptaciones estructurales y técnicas deben realizarse en el interior del microbús para integrar de manera funcional todos los componentes de la biblioteca digital móvil?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Implementar una biblioteca digital móvil en un microbús, abastecida con computadoras y equipos alimentados por energía solar fotovoltaica, con el propósito de promover el acceso equitativo a recursos educativos digitales en comunidades remotas y con limitada infraestructura eléctrica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la demanda energética máxima para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo necesario para alimentar la biblioteca digital móvil.
- Adaptar el sistema de alimentación de las computadoras y dispositivos electrónicos para su funcionamiento eficiente en corriente continua (DC), evitando el uso de inversores.
- Ambientar y acondicionar el interior del microbús para integrar adecuadamente los equipos tecnológicos, el sistema eléctrico y el sistema de monitoreo energético.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

Este proyecto propone una solución tecnológica innovadora y sostenible para enfrentar la exclusión energética y digital en comunidades rurales del Perú, especialmente en zonas altoandinas de difícil acceso. La implementación de una biblioteca digital móvil, alimentada por un sistema fotovoltaico autónomo en corriente continua (DC), optimiza la eficiencia del sistema, eliminando la necesidad de inversores y reduciendo pérdidas energéticas. La normativa nacional promueve el uso de sistemas DC en instalaciones autónomas y móviles, como el caso del proyecto (CNE-U, 2006).

El sistema incorpora un monitoreo energético en tiempo real para cada PC utilizando un microcontrolador ESP32, sensores INA219 y multiplexores I2C, con los datos enviados automáticamente a Google Sheets para análisis remoto y toma de decisiones. Esta tecnología cumple con la NTP 399.010:2019 y las directrices del MINEM sobre monitoreo remoto en sistemas fotovoltaicos rurales (MINEM, 2023). Las pruebas iniciales en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca validaron los parámetros de consumo, autonomía y funcionamiento. Posteriormente, el sistema se instaló en el microbús, siguiendo normativas de seguridad y buenas prácticas del MINEM.

1.4.2 Justificación social

En Perú, persiste una significativa brecha digital entre las zonas urbanas y rurales, especialmente en regiones altoandinas y de difícil acceso. Según el Ministerio de Educación (2022), más del 65% de los estudiantes rurales no tienen acceso regular a computadoras ni a internet, lo que limita su desarrollo académico.

Ante esta situación, las soluciones tecnológicas móviles y autónomas, como el proyecto Uayki, han demostrado ser efectivas para promover la equidad educativa. Uayki es una biblioteca virtual portátil que funciona sin conexión y se alimenta con energía solar, expandiéndose en regiones como Ayacucho, Cusco y Puno (Infobae, 2024).

En esta línea, el proyecto de biblioteca digital móvil propuesto busca democratizar el acceso al conocimiento mediante una unidad móvil equipada con computadoras y un sistema fotovoltaico autónomo. El sistema incluye acceso a repositorios digitales preinstalados y una conexión a internet limitada para subir datos de consumo energético a la nube, mejorando el monitoreo y la trazabilidad. Este modelo se alinea con el Proyecto Educativo Nacional al 2036, que promueve la transformación digital y la reducción de la desigualdad territorial en el acceso a recursos educativos (CNE, 2021).

1.4.3 Justificación ambiental

El proyecto contribuye directamente a la mitigación del impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles, al basarse en un sistema de generación eléctrica renovable, limpio y autónomo. La alimentación en corriente continua elimina pérdidas energéticas derivadas de la conversión mediante inversores, alcanzando mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar. De esta manera, se reduce la huella de carbono y se promueve el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Asimismo, la integración de un sistema de monitoreo energético basado en sensores INA219 y un microcontrolador ESP32 favorece el uso racional de la energía, ya que permite registrar y analizar en tiempo real el consumo de cada dispositivo. Esta práctica se alinea con las recomendaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 399.010:2019 sobre eficiencia energética en sistemas aislados y fortalece la conciencia ambiental en comunidades rurales.

1.4.4 Justificación económica

El proyecto de la biblioteca digital móvil abastecida por un sistema fotovoltaico autónomo presenta una solución económica eficiente para comunidades rurales, donde la infraestructura eléctrica convencional es costosa o inexistente. Utilizando energía solar, el sistema reduce considerablemente los costos operativos asociados con el consumo de electricidad, que en zonas rurales depende frecuentemente de fuentes no renovables como los generadores diésel, los cuales son costosos y poco sostenibles. Según la Agencia Internacional de Energía (2021), los sistemas fotovoltaicos pueden reducir los costos operativos hasta un 50% durante su vida útil, haciendo que el proyecto sea más rentable a largo plazo en comparación con las soluciones tradicionales.

Además, la infraestructura móvil permite que una única unidad equipada con computadoras y sistemas fotovoltaicos pueda beneficiar a múltiples comunidades, optimizando el uso de recursos y maximizando el alcance del servicio educativo. Este enfoque reduce significativamente los costos de implementación y mantenimiento, en contraste con las infraestructuras fijas, que requieren inversiones más altas en construcción y red eléctrica (MINEM, 2023).

1.5 Marco metodológico

1.5.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como finalidad resolver una problemática concreta relacionada con la falta de acceso a recursos educativos digitales en zonas rurales, mediante el desarrollo de una solución tecnológica autónoma y sostenible.

En cuanto al nivel, corresponde a una investigación de nivel descriptivo–propositivo, ya que se describen las características técnicas, energéticas y estructurales del sistema implementado, y se propone un prototipo funcional que integra energía solar, tecnología digital e infraestructura móvil para fines educativos.

1.5.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, puesto que se recopilan, miden y analizan datos técnicos relacionados con la demanda energética, el rendimiento del sistema fotovoltaico y el comportamiento del consumo eléctrico por equipo a través del sistema de monitoreo.

1.5.3 Diseño de la investigación

El diseño es de tipo no experimental y transversal, ya que no se manipulan variables independientes y los datos se recogen en un solo momento durante el desarrollo y validación del prototipo. La investigación se basa en la observación del desempeño técnico del sistema en condiciones reales de operación.

1.5.4 Población y muestra

La población está conformada por la biblioteca digital móvil instalada en el microbús, incluyendo sus sistemas energéticos, electrónico y de monitoreo. La muestra corresponde a las 10 computadoras de bajo consumo y los principales componentes del sistema fotovoltaico autónomo, sobre los cuales se evaluó el desempeño técnico del sistema.

1.5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Monitoreo electrónico en tiempo real:** a través de un sistema basado en ESP32 con multiplexores I2C y sensores eléctricos, que permitió obtener lecturas de corriente y voltaje por cada PC, y almacenar los datos automáticamente en hojas de cálculo de Google Sheets.
- **Fichas técnicas y manuales:** para analizar las especificaciones de consumo de los equipos informáticos y energéticos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del problema de investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Como antecedentes internacionales del proyecto podemos mencionar a Zblewski, Sander y Hoffmann (2021), quienes implementaron el proyecto *SolarSPELL*, en la Universidad Estatal de Arizona. Este proyecto consistió en una biblioteca digital solar portátil, integrada en una caja plástica resistente al agua que contiene un servidor local, módulo fotovoltaico y contenido educativo almacenado. Ha sido utilizado exitosamente en comunidades rurales de Vanuatu, Samoa, Sudán del Sur, Ruanda y Haití. Su portabilidad y funcionamiento autónomo lo convierten en un modelo de referencia para soluciones educativas en contextos de desconexión tecnológica.

En la misma línea tenemos a Banerjee y Duflo (2019), quienes implementaron kioscos digitales abastecidas en zonas rurales de India. Estos *Digital Learning Kiosks* permitieron el acceso gratuito a materiales educativos, videos, enciclopedias digitales y evaluaciones interactivas. Diseñados para funcionar sin conexión a internet, fueron ubicados estratégicamente en escuelas rurales de bajo presupuesto. El proyecto demostró mejoras significativas en los niveles de comprensión lectora y matemáticas básicas. Así lo menciona también Ngugi (2020), quien analizó el trabajo de la organización *Solar Powered Educational Learning Library (SPELL)* desarrolló aulas móviles con computadoras portátiles alimentadas por energía solar. Estas aulas, instaladas en vehículos adaptados, llegaban a escuelas remotas para promover la alfabetización digital y el acceso equitativo a la tecnología. Un caso emblemático y similar al nuestro fue presentado por UNESCO (2020), que implementó un bus educativo solar para alfabetización y formación digital en aldeas rurales. La unidad combinó la energía solar con estaciones digitales portátiles, con materiales en lenguas locales, beneficiando a más de 1,000 estudiantes en zonas sin electricidad.

Almeida y Santos (2021) implementaron el proyecto *Biblio-Solar*, cuyo objetivo era llevar educación digital a las comunidades más remotas de la Amazonía brasileña mediante una biblioteca digital móvil alimentada por módulos fotovoltaicos. El proyecto permitió a los

estudiantes acceder a materiales educativos y participar en cursos interactivos sin necesidad de conexión a internet, utilizando un servidor local con contenido educativo cargado previamente. La conclusión a la que llegaron los autores es que las soluciones educativas móviles, alimentadas por energía solar, son viables para superar la falta de acceso a electricidad en zonas remotas. Esta información es relevante para el estudio en desarrollo, ya que se busca implementar una solución similar en zonas rurales utilizando energía solar como fuente principal para acceder a la educación digital, especialmente en áreas con dificultades para acceder a infraestructura eléctrica.

Gómez y Rodríguez (2022) desarrollaron el proyecto SOLAR en el estado de Oaxaca, México, con el objetivo de proporcionar acceso a clases y recursos educativos en comunidades marginadas a través de unidades móviles equipadas con módulo fotovoltaicos, computadoras portátiles y materiales educativos predescargados. Este proyecto permitió facilitar la educación continua en lugares de difícil acceso, mostrando que la tecnología móvil y la energía solar pueden superar las barreras geográficas y de infraestructura en zonas rurales. La conclusión fue que el uso de unidades móviles solares proporciona una solución efectiva para la educación en áreas aisladas. Este antecedente es relevante para el proyecto en desarrollo, ya que también se busca utilizar tecnología móvil y energía solar para facilitar la educación en comunidades remotas y de difícil acceso.

Mhlongo y Sibanda (2020) implementaron el proyecto ConnectEd en Sudáfrica, cuyo objetivo era conectar a comunidades rurales con plataformas educativas utilizando unidades móviles alimentadas por energía solar. Este proyecto no solo ofreció acceso a materiales académicos, sino que también proporcionó clases virtuales en tiempo real a estudiantes de áreas rurales, mejorando significativamente la alfabetización digital en regiones donde las conexiones a internet son limitadas o inexistentes. La conclusión fue que la combinación de energía solar y tecnología móvil puede superar las barreras de conectividad y proporcionar acceso a la educación en áreas remotas. Este antecedente es pertinente para el estudio actual, ya que también se busca aplicar soluciones educativas basadas en energía solar para mejorar el acceso a la educación digital en comunidades rurales con limitaciones tecnológicas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Como antecedentes nacionales podemos mencionar a las siguientes, el proyecto peruano *Uayki* que es una biblioteca digital móvil que fue desarrollado con el objetivo de llevar contenidos digitales a comunidades sin acceso a internet ni electricidad. Esta biblioteca digital, basada en un servidor local que funciona con energía solar, ha sido implementada en más de 10 regiones del Perú, incluyendo comunidades amazónicas y altoandinas. El sistema permite acceder a libros, videos y plataformas educativas sin conexión, demostrando que la tecnología puede adaptarse a contextos rurales remoto (Infobae, 2024).

El Ministerio de Energía y Minas del Perú ha impulsado programas de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos autónomos, beneficiando a más de 55,000 hogares entre 2023 y 2024. Estos programas han permitido abastecer escuelas, postas médicas y centros comunitarios, donde no hay acceso a red eléctrica convencional (Agencia Andina, 2024).

La Dirección Regional de Educación Ayacucho y Puno (2024) han promovido bibliotecas móviles físicas con libros, pero sin integrar tecnología digital ni contar con autonomía energética. El objetivo de este proyecto es mejorar el acceso a los recursos educativos en comunidades rurales de Ayacucho y Puno. Sin embargo, al carecer de tecnología digital y energía autónoma, este enfoque limita su alcance y efectividad en zonas sin acceso a electricidad. Este antecedente se relaciona con el proyecto en desarrollo, que busca integrar innovación digital y autosuficiencia energética para mejorar el acceso educativo en estas regiones remotas.

La Dirección Regional de Educación de Lima Metropolitana y Minedu (2022) implementaron buses digitales con laptops y conectividad para estudiantes sin acceso a clases virtuales durante la pandemia. El objetivo era proporcionar clases virtuales a estudiantes en zonas rurales y marginales. Sin embargo, estos buses dependían de generadores de gasolina, lo que aumentaba los costos operativos y la contaminación. Este antecedente es relevante para el proyecto en desarrollo, ya que busca eliminar la dependencia de generadores de gasolina y proporcionar una solución más sostenible utilizando energía solar como fuente principal.

Minedu y GIZ (2023) impulsaron el proyecto "Escuelas Sol" en el Perú rural, cuyo objetivo es implementar aulas digitales solares en comunidades alejadas. Utilizando energía solar

fotovoltaica, las aulas permiten a los estudiantes acceder a recursos educativos interactivos, plataformas de aprendizaje y bibliotecas virtuales, sin necesidad de conexión a internet permanente. Este proyecto busca mejorar las oportunidades educativas en zonas altoandinas y amazónicas, donde la electrificación y el acceso a internet son limitados. Este antecedente respalda el proyecto que se está desarrollando, ya que ofrece una solución viable de educación digital en comunidades sin acceso constante a internet.

Telefónica (2022), en colaboración con el Minedu, ha implementado el proyecto "Conectados con la Educación" en la Sierra Central del Perú. Este proyecto lleva plataformas educativas basadas en energía solar a escuelas rurales, asegurando su autonomía energética mediante módulos fotovoltaicos que alimentan computadoras y tablets. La implementación ha beneficiado a más de 50 escuelas rurales, mejorando la calidad educativa y reduciendo la brecha digital. Este antecedente es importante para el proyecto actual, ya que también busca integrar plataformas educativas con energía solar en áreas rurales.

Ministerio de Cultura (2023) impulsó el proyecto "Ñanqanchik", que busca implementar plataformas de aprendizaje móvil en comunidades indígenas rurales utilizando energía solar. Las plataformas incluyen contenidos en lenguas originarias y están diseñadas para ser accesibles sin conexión a internet. Este proyecto ha permitido que más de 100 comunidades accedan a recursos educativos digitales, preservando su identidad cultural a través de contenidos adaptados a sus necesidades lingüísticas y culturales. Este antecedente es relevante para el proyecto en desarrollo, ya que también se busca ofrecer soluciones educativas adaptadas culturalmente a comunidades rurales utilizando energía solar.

2.1.3 Antecedentes regionales

Como antecedentes regionales del proyecto podemos mencionar a la UGEL San Román (2021) implementó un Proyecto de Biblioteca Itinerante que tenía como objetivo llevar libros físicos y material educativo a instituciones educativas de zonas alejadas como Capachica, Ácora y Paucarcolla. Este servicio de biblioteca itinerante rural fue una estrategia relevante para fomentar la lectura en comunidades remotas. Sin embargo, el proyecto no incorporó recursos tecnológicos ni digitales, y dependía del transporte convencional y horarios limitados. Este antecedente se relaciona con el proyecto en desarrollo, que busca mejorar este enfoque

integrando tecnologías digitales y energía autónoma para ofrecer acceso a la educación en zonas rurales, de manera más sostenible y eficiente.

DRE Puno (2021), durante la emergencia sanitaria por la COVID-19, adaptó el programa nacional “Aprendo en Casa” a contextos sin conectividad, mediante la entrega de materiales impresos y, en algunos casos, radios solares portátiles para zonas sin electricidad. El objetivo era garantizar que los estudiantes en comunidades aisladas pudieran continuar su educación durante la pandemia. Esta experiencia evidenció la necesidad urgente de soluciones móviles, autosuficientes y tecnológicas para garantizar el derecho a la educación en las comunidades más aisladas. Este antecedente refuerza la justificación del proyecto actual, ya que también se busca ofrecer soluciones educativas móviles y autosuficientes mediante energía solar.

CUNA Más (2023) incorporó kits solares portátiles con tabletas para niños y madres gestantes en el distrito de Azángaro. El objetivo del programa era mejorar el acceso a la tecnología en comunidades rurales para promover la educación y el bienestar. Aunque el programa tuvo un alcance limitado, demostró el valor de la tecnología solar en el ámbito educativo y comunitario, al permitir el acceso a plataformas educativas sin depender de la red eléctrica. Este antecedente se relaciona con el proyecto en desarrollo, que también busca utilizar la energía solar para llevar tecnología educativa a zonas remotas.

DRE Puno (2023) implementó el proyecto “Escuelas Solares” en más de 50 escuelas rurales de Puno, con el objetivo de proporcionar energía para iluminar aulas y alimentar computadoras y proyectores en zonas sin acceso a la red eléctrica. Este sistema fotovoltaico autónomo ha permitido a las comunidades rurales contar con aulas digitales equipadas, lo que ha aumentado las oportunidades educativas, incluso durante la noche o en días nublados. Este antecedente respalda la viabilidad del uso de la energía solar para garantizar la continuidad de la educación en lugares remotos, lo que es central en el proyecto que se está desarrollando.

Sierra Solar (2023) implementa el proyecto “Sierra Solar” en la Sierra Central del Perú, cuyo objetivo es reducir la brecha educativa en zonas rurales utilizando aulas digitales solares. Estos sistemas fotovoltaicos autónomos permiten que las escuelas operen sin necesidad de la red eléctrica, proporcionando tabletas educativas precargadas con material de estudio, lo que permite a los estudiantes acceder a plataformas de aprendizaje sin conexión a internet. Este

proyecto ha mejorado significativamente la calidad educativa en comunidades de difícil acceso. Este antecedente respalda la implementación de soluciones educativas sostenibles, como el uso de energía solar, en zonas rurales con limitados recursos.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Bibliotecas digitales móviles

Una biblioteca digital móvil es una unidad transportable que brinda acceso a contenidos educativos, libros electrónicos, enciclopedias, videos y otros recursos digitales. Su propósito es llevar la educación y el conocimiento a comunidades que carecen de conectividad a internet, infraestructura bibliotecaria o medios digitales. Estas bibliotecas suelen utilizar servidores locales (como Raspberry Pi o similares), dispositivos de almacenamiento y pantallas o PCs accesibles al usuario. En contextos rurales, su efectividad aumenta al integrarse con soluciones energéticas autónomas como módulos fotovoltaicos (Zblewski y otros, 2021).

Las bibliotecas digitales móviles constituyen una alternativa moderna a las bibliotecas tradicionales itinerantes, al ofrecer acceso a contenido actualizado y multimedia sin necesidad de conexión constante a internet. Su diseño debe considerar aspectos como portabilidad, consumo energético y adaptabilidad a distintas condiciones geográficas.

Figura 1

Biblioteca digital móvil.



Nota. Extraída de *Lecturas en movimiento: Pautas IFLA sobre bibliotecas móviles*

[Fotografía], por Universo Abierto, (2025), (<https://n9.cl/96ztr>).

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos autónomos

Un sistema fotovoltaico autónomo, también denominado sistema “off-grid”, es un conjunto de componentes eléctricos diseñados para generar, almacenar y suministrar energía solar sin depender de la red eléctrica pública. A diferencia de los sistemas conectados a red (grid-tied), los sistemas autónomos operan de forma completamente independiente y están compuestos por módulos fotovoltaicos, un regulador de carga, baterías para almacenamiento de energía, y, en algunos casos, un inversor si se requiere alimentar dispositivos que operen en corriente alterna (CA) (Perpiñan, 2023).

El principio básico de funcionamiento consiste en la captación de radiación solar a través de los módulos fotovoltaicos, cuya energía se convierte en electricidad en forma de corriente continua (CC). Esta electricidad es regulada por un controlador de carga, el cual gestiona el flujo energético hacia las baterías y protege contra sobrecargas y descargas profundas. La energía almacenada puede utilizarse directamente por dispositivos compatibles con CC.

El diseño de un sistema fotovoltaico autónomo requiere una planificación detallada que considere:

- **La demanda diaria de energía:** calculada en base al perfil de consumo de los equipos informáticos, sistemas auxiliares como ventilación, iluminación y dispositivos electrónicos, expresado en Wh/día.
- **La capacidad de generación solar:** determinada por el número, tipo y orientación de los módulos fotovoltaicos, en función de la radiación solar media disponible en la zona geográfica del proyecto.
- **La eficiencia del sistema:** teniendo en cuenta pérdidas por cableado, eficiencia del regulador, temperatura de operación y autodescarga de baterías.

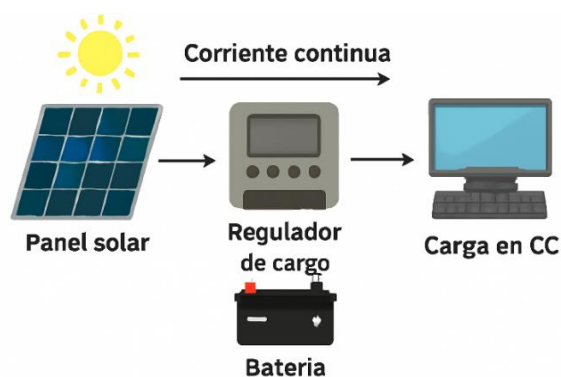
Estos aspectos técnicos deben complementarse con criterios normativos y de seguridad eléctrica. En el caso del Perú, el diseño, montaje y puesta en servicio de sistemas solares autónomos está regulado por las disposiciones del Código Nacional de Electricidad – Suministro de Energía Solar (2020), el cual establece recomendaciones sobre secciones de cableado,

protecciones eléctricas, conexión de baterías, compatibilidad de componentes y seguridad ante sobretensiones.

En la Figura 2 se muestra el esquema de un sistema fotovoltaico autónomo en corriente continua, como base energética de la biblioteca digital móvil en este proyecto, no solo responde a criterios técnicos de eficiencia y viabilidad económica, sino que se encuentra respaldada por el marco regulatorio nacional y por experiencias exitosas de aplicación en zonas rurales del país.

Figura 2

Diseño del sistema fotovoltaico autónomo.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.2.3 Corriente continua en sistemas educativos

El uso de corriente continua (DC) en ambientes educativos abastecidos con energía solar representa una tendencia cada vez más consolidada a nivel internacional, especialmente en regiones rurales o sin acceso confiable a la red eléctrica. La arquitectura basada en DC permite alimentar directamente equipos como computadoras personales de bajo consumo, routers, pantallas LED, cargadores de dispositivos móviles, tablets educativas, entre otros, sin requerir costosas conversiones de energía, lo que eleva significativamente la eficiencia energética del sistema (Gonzales & Pacheco, 2021).

Además, los sistemas en DC presentan ventajas en términos de seguridad eléctrica, ya que pueden operar a bajos voltajes sin comprometer la funcionalidad de los equipos, lo cual es ideal en espacios reducidos y móviles como el interior de un microbús. También permite una

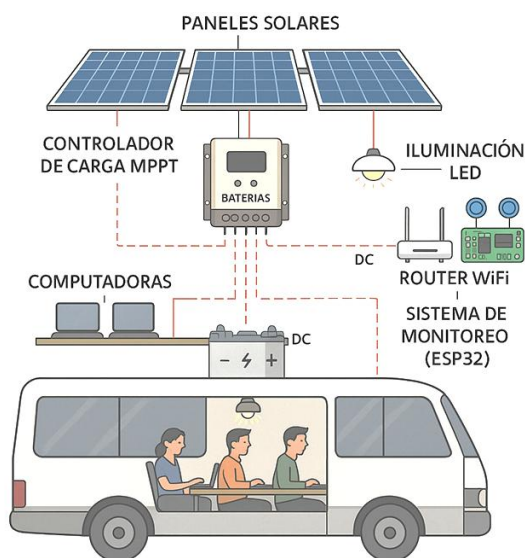
conexión más directa con fuentes de energía como baterías de litio o fosfato de hierro (LiFePO₄), y controladores de carga MPPT que ya operan naturalmente en DC (Lorenzo, 2014).

La compatibilidad creciente de laptops, monitores y routers con voltajes DC, especialmente aquellos diseñados para entornos educativos y rurales (como las XO u OLPC y mini-PCs), refuerza aún más la pertinencia de esta configuración técnica. En conjunto, estos factores hacen del diseño en corriente continua una solución viable, eficiente y sostenible para proyectos de electrificación educativa autónoma (Europe, 2023).

En la Figura 3 se observa el diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo instalado en un microbús. Los módulos fotovoltaicos capturan la energía solar, la cual es gestionada por el controlador de carga MPPT y almacenada en baterías. Esta energía se utiliza para alimentar las computadoras y la iluminación LED dentro del microbús, así como para alimentar el router WiFi y el sistema de monitoreo ESP32, todo funcionando en corriente continua (DC).

Figura 3

Circuito del sistema de instalación.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.2.4 Monitoreo energético con microcontroladores (IoT)

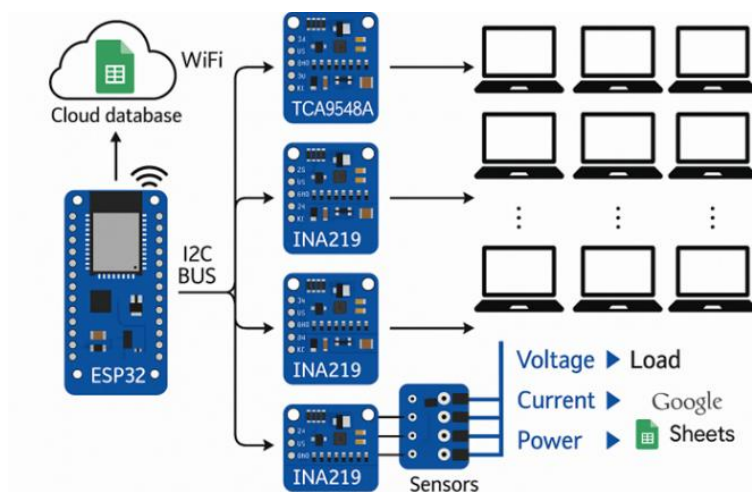
El monitoreo energético basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT,) representa una solución moderna, flexible y de bajo costo para supervisar y optimizar el uso de energía eléctrica

en sistemas autónomos, especialmente en contextos rurales o fuera de red. Este enfoque combina microcontroladores, sensores electrónicos, redes inalámbricas y plataformas de almacenamiento en la nube para obtener datos precisos en tiempo real sobre el comportamiento eléctrico de cada componente del sistema (Rezk y otros, 2023).

El sistema utiliza un microcontrolador ESP32, que se destaca por su potente capacidad de procesamiento y conectividad WiFi, permitiendo la conexión eficiente con diversos dispositivos y sensores. A través del bus de comunicación I2C, se conectan dos multiplexores TCA9548A, los cuales gestionan múltiples dispositivos de manera eficiente. Cada multiplexor está vinculado a cinco sensores INA219, que miden simultáneamente la tensión y corriente, permitiendo obtener mediciones de los parámetros eléctricos en tiempo real. La comunicación entre los sensores y el microcontrolador se realiza de forma secuencial mediante el bus I2C, lo que optimiza el uso de los recursos y reduce la complejidad del cableado. En la Figura 4, se ilustra el esquema de conexiones y el flujo de datos entre los componentes del sistema.

Figura 4

Sistema de recolección de datos.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Una de las principales ventajas de este tipo de monitoreo descentralizado es su escalabilidad: se pueden agregar más sensores sin modificar el sistema base, lo cual es ideal en proyectos educativos que podrían crecer en número de equipos. Asimismo, este sistema fomenta la

alfabetización tecnológica de los estudiantes al permitir que comprendan y visualicen, en tiempo real, cómo se comporta el sistema energético que los abastece.

2.2.5 Acceso a TIC y brecha digital rural

La brecha digital constituye uno de los principales desafíos en el proceso de democratización del conocimiento en el Perú, particularmente en contextos rurales y altoandinos. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2022), apenas el 15.2 % de los hogares rurales cuenta con acceso a internet, mientras que solo un 11.8 % posee al menos una computadora funcional. Esta brecha digital limita severamente las oportunidades de aprendizaje, el desarrollo de habilidades tecnológicas y la inclusión de estudiantes en el entorno educativo digital contemporánea

El acceso desigual a tecnologías de la información y comunicación (TIC) no solo refuerza las desigualdades sociales existentes, sino que restringe el derecho fundamental a una educación de calidad, especialmente en regiones altoandinas, amazónicas y de difícil acceso. Esta problemática ha sido reconocida por organismos nacionales e internacionales como una barrera crítica para el desarrollo humano, lo que ha motivado la formulación de políticas públicas orientadas al cierre de dicha brecha (CEPAL, 2022).

2.2.6 Normativa nacional para instalaciones fotovoltaicas

El desarrollo de sistemas fotovoltaicos autónomos en el Perú, especialmente en contextos educativos rurales, requiere cumplir con estándares técnicos, normativos y de seguridad establecidos por el marco regulatorio nacional. Estas normativas garantizan no solo la eficiencia y funcionalidad del sistema, sino también la seguridad de los usuarios, la sostenibilidad del diseño y la compatibilidad con el entorno.

a) Código nacional de electricidad – suministro autónomo (CNE – SuA)

El CNE–SuA, aprobado mediante Resolución Ministerial N.º 405-2007-MEM/DM y sus modificatorias, constituye el principal marco técnico que rige el diseño y ejecución de sistemas eléctricos que funcionan de manera aislada de la red pública. Esta norma es de aplicación obligatoria para todos los sistemas de suministro autónomo, incluyendo los sistemas fotovoltaicos autónomos de pequeña escala implementados en zonas rurales.

El CNE–SuA establece disposiciones técnicas específicas, entre las que destacan:

- Clasificación de usuarios según su demanda pico (pequeña, mediana y gran demanda).
- Determinación del tipo de distribución (DC o CA), especificando criterios para corriente continua en baja tensión, tal como se utiliza en el presente proyecto.
- Requisitos de dimensionamiento de baterías, protecciones eléctricas, puesta a tierra, secciones mínimas de conductores, canalización eléctrica y señalización.
- Condiciones ambientales mínimas que deben ser tomadas en cuenta (altitud, temperatura ambiente, radiación solar promedio, etc.).

En el caso de este proyecto, se cumple con las exigencias del CNE–SuA mediante:

- El uso de canalización eléctrica segura y adecuada para ambientes móviles.
- Implementación de fusibles de protección y controladores de carga que regulan la energía entregada a las baterías.
- Distribución de energía en corriente continua, evitando el uso de inversores, lo cual es permitido por el reglamento siempre que los equipos conectados sean compatibles.

“Todo sistema autónomo deberá contar con protecciones eléctricas que permitan operar de forma segura, confiable y continua, en concordancia con la carga conectada y la capacidad del sistema” (MINEM, 2007).

b) Reglamento nacional de instalaciones eléctricas (RNIE)

Aunque el RNIE se orienta principalmente a instalaciones conectadas a la red pública, sus principios de diseño seguro, protección contra contactos directos e indirectos, y prevención de riesgos eléctricos son plenamente aplicables a sistemas autónomos, sobre todo cuando se trabaja en espacios que serán utilizados por población estudiantil (MINEM, 2022).

El presente proyecto adopta los siguientes criterios del RNIE:

- Protección de líneas vivas mediante canaletas y cajas estancas.

- Ausencia de elementos energizados al alcance del usuario.
- Correcto dimensionamiento de los conductores eléctricos conforme a la carga y la caída de tensión admisible.

c) Normas técnicas peruanas (NTP) aplicables

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) ha emitido diversas NTP que, aunque de cumplimiento voluntario, representan estándares recomendados para garantizar la calidad, durabilidad y seguridad de los componentes utilizados (INACAL, 2020). Algunas de las más relevantes para este proyecto son:

- NTP 399.010:2020 – Requisitos generales de instalación de sistemas fotovoltaicos.
- NTP 370.252:2020 – Seguridad para módulos fotovoltaicos.
- NTP 370.253:2020 – Métodos de prueba y clasificación de eficiencia.
- NTP 399.200:2021 – Ensayos de rendimiento bajo condiciones normalizadas.

d) Normas del MINEDU y el MINEM

Aunque actualmente no existe una norma específica que regule bibliotecas digitales móviles fotovoltaicas, tanto el Ministerio de Educación (MINEDU) como el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) promueven activamente el uso de tecnologías limpias y digitales en el ámbito educativo rural.

El MINEDU ha publicado lineamientos sobre el uso de tecnologías en zonas rurales, destacando la necesidad de emplear soluciones tecnológicas sostenibles que funcionen en ausencia de red eléctrica o internet. Del mismo modo, el MINEM, a través del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), respalda sistemas aislados con fines sociales y educativos como una solución prioritaria para comunidades dispersas.

e) Reglamento nacional de construcciones (RNC) – Título III (Condiciones de seguridad)

El Título III del Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) establece las condiciones mínimas de seguridad, habitabilidad y funcionalidad que deben cumplir los espacios destinados a la permanencia de personas. Regula aspectos como accesos, circulación, evacuación, ventilación e iluminación, asegurando que los ocupantes se desplacen y trabajen de forma segura. Esta normativa también admite flexibilidad dimensional en ambientes no

convencionales, como unidades móviles, siempre que se garantice la protección y el tránsito adecuado de los usuarios (MVCS, 2006).

f) Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Serie A.0.30 a A.110 (Normas arquitectónicas generales)

La serie A.0.30 a A.110 del RNE agrupa las normas arquitectónicas generales aplicables al diseño de ambientes habitables. Incluye requisitos sobre áreas mínimas, accesibilidad universal, mobiliario, iluminación, ventilación, condiciones de uso y circulación interna. Estas normas garantizan que los espacios cuenten con dimensiones adecuadas y respondan a criterios de seguridad y funcionalidad. En ambientes educativos, permiten definir superficies mínimas por usuario y distribuciones que aseguren un uso cómodo y seguro del espacio (MVCS, 2006).

g) RNE A.040 – Circulaciones y pasillos

La norma A.040 del RNE determina los anchos mínimos para pasillos y circulaciones en edificaciones públicas y educativas, recomendando 0,90 m en ambientes fijos para permitir un tránsito fluido y una evacuación segura. Sin embargo, esta exigencia está diseñada para edificaciones permanentes; en espacios móviles o condicionados, la norma permite ajustes dimensionales siempre que no se comprometa la seguridad, el acceso a los puestos de trabajo ni la capacidad de evacuación (MVCS, 2006).

h) RNE A.130 – Artículo 20 (Edificaciones de uso especial)

La norma A.130 del RNE clasifica ciertos espacios como “edificaciones de uso especial”, categoría que incluye módulos temporales, ambientes móviles y estructuras adaptadas. El Artículo 20 permite emplear dimensiones distintas a las de los ambientes tradicionales cuando existan restricciones físicas propias del espacio, siempre que se aseguren condiciones básicas de ergonomía, seguridad, ventilación, iluminación y circulación mínima para los usuarios (MVCS, 2006).

i) Norma Técnica de Mobiliario Educativo – Minedu

La Norma Técnica del Mobiliario Educativo del Ministerio de Educación establece las características y dimensiones mínimas del mobiliario escolar, asegurando que los estudiantes cuenten con condiciones ergonómicas adecuadas. Para aulas informáticas, exige que cada estudiante disponga entre 0,50 y 0,60 m², superficie necesaria para ubicar una mesa, un equipo

informático y mantener una postura correcta durante el uso. También regula altura de mesas, distancias recomendadas y criterios de seguridad del mobiliario (MINEDU, 2022).

j) **Guía técnica del INSSST (2015) – Puestos con pantallas de visualización**

La guía del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSSST) establece los criterios ergonómicos para el diseño de puestos con computadoras. Define superficies mínimas entre 0,55 y 0,80 m² por usuario, junto con recomendaciones de postura, iluminación, distancias visuales, ubicación del monitor y teclado, y condiciones ambientales. Su objetivo es prevenir fatiga visual, tensiones musculares y molestias posturales, asegurando un entorno de trabajo seguro y saludable (INSSST, 2025).

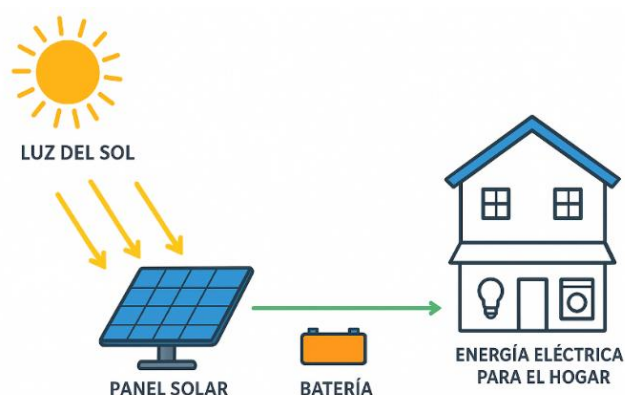
2.3 Marco conceptual

2.3.1 Energía Solar

La energía solar constituye una de las fuentes más abundantes en el planeta. Es un recurso sostenible, renovable y de libre acceso a nivel global. Su aprovechamiento se realiza mediante sistemas fotovoltaicos, en los cuales los módulos fotovoltaicos captan la radiación del sol y la convierten en energía eléctrica como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Proceso básico de conversión de energía a energía eléctrica.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.3.2 Celda fotovoltaica

Una celda fotovoltaica es un semiconductor que convierte la luz solar en electricidad gracias al efecto fotovoltaico. Está formada por una unión P-N:

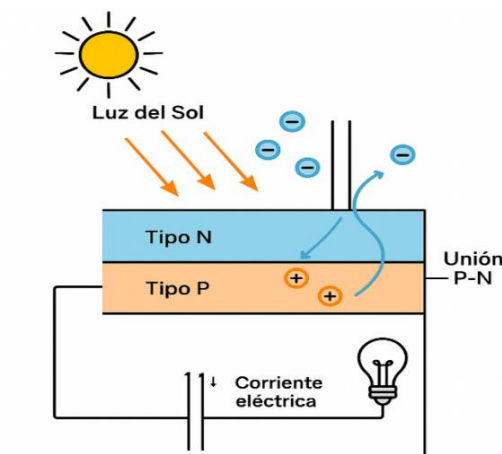
- La capa N (superior) tiene exceso de electrones.
- La capa P (inferior) tiene huecos como portadores.

Cuando los fotones inciden sobre la celda, el silicio absorbe su energía y genera pares electrón–hueco. El campo eléctrico interno de la unión P-N separa estos portadores, creando una diferencia de potencial que produce una corriente continua aprovechable en un circuito externo (Pulido & Ledesma , 2021).

Para asegurar su durabilidad y eficiencia, las celdas fotovoltaicas se encapsulan con materiales protectores como vidrio o polímeros plásticos, los cuales resguardan al semiconductor frente a factores ambientales. El espesor de estas cubiertas suele variar entre 0,25 y 0,35 mm, dependiendo del diseño y del fabricante como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Teoría de la celda fotovoltaica.



Nota. Extraída de *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para generar electricidad*

[Ilustración], por Pulido, N. A., y Ledesma, A. A., 2021, Universidad Tecnológica del Perú

(<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/7063>).

2.3.3 Radiación solar

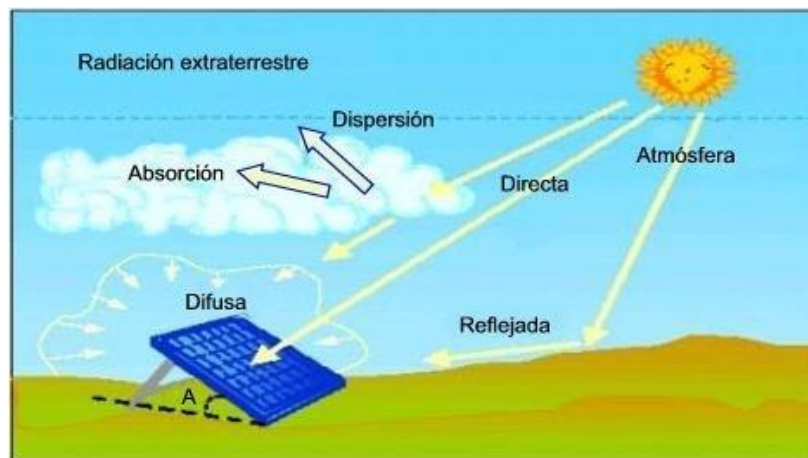
La literatura referida al tema muestra que la radiación solar sobre la superficie se clasifica en tres tipos de radiaciones solares sobre una superficie horizontal los cuales son: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada o albedo (Perpiñan, 2023):

- **Radiación directa:** son las que se reciben directamente del sol.
- **Radiación difusa:** los forman los rayos solares dispersados por la atmosfera en dirección del receptor.
- **Radiación reflejada o albedo:** es reflejada por la superficie en dirección del receptor. Depende directamente de la naturaleza y los objetos que rodean al receptor.

Estos tres puntos están plasmados en la figura 7.

Figura 7

Tipos de radiación sobre una superficie.



Nota. Extraída de *Las estrellas: El Sol* [Ilustración], por Cobaes Geo, 2011, Cobaes Geo (<https://cobaesgeo.foroactivo.com/t1409-las-estrellas-el-sol>).

2.3.4 Unidades de radiación solar

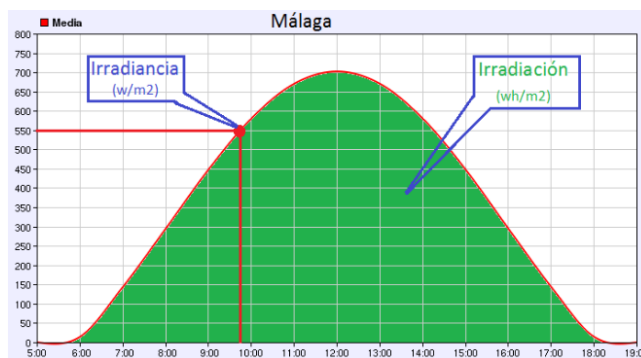
Las unidades de medida utilizadas para cuantificar la radiación solar es en W/m^2 aunque también se pueden expresar en otras unidades, según (Pareja, 2020), para poder determinar la radiación solar en una determinada zona se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

En la Figura 8 se muestra:

- **Irradiancia:** Es la potencia o radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada, en donde nos indica la intensidad de la radiación solar y se mide en W/m^2 .
- **Irradiación:** Es la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo se pueden expresar en términos de energía J/m^2 o en términos de potencia Wh/m^2 .

Figura 8

Concepto de irradiancia (W/m^2) e irradiación (Wh/m^2) de un día de medición de la ciudad de Málaga – España.



Nota. Extraída de *Irradiancia, irradiación y radiación solar* [Gráfico], por HelioEsfera, 2020, HelioEsfera (<https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>).



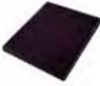
2.3.5 Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos constan de un conjunto de celdas fotovoltaicas hechas de materiales semiconductores como el silicio y están interconectados eléctricamente y protegidos contra la intemperie que son los encargados de convertir la radiación solar en electricidad de corriente continua, por lo general están cubiertas por un vidrio templado y un marco de aluminio templado para facilitar su transporte e instalación.

Existen diferentes componentes con las que se fabrican las células fotovoltaicas como se muestran en la Figura 9.

Figura 9

Tipo de materiales de celdas solares.

Material	Rendimiento	Ventajas	Desventajas	Aspecto
Silicio Monocrystalino	15 - 18%	-Mejor rendimiento -Eficiencia de 150Wp/m ² -Mayor número de fabricantes	-Costo más elevado	
Silicio Policristalino	12 - 14%	-Su forma cuadrada permite el ahorro de área del módulo -Eficiencia de conversión óptima (100 Wp/m ²)	-Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja	
Silicio Amorfo	< 10%	-Funciona con luz difusa muy baja (días nublados) -Menos costosa -Se integra sobre soportes flexibles o rígidos	-Rendimiento bajo el sol de 5%-7% -Rendimiento decrece con el tiempo	

Nota. Extraída de *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para generar electricidad*

[Tabla], por Pulido, N. A., y Ledesma, A. A., (2021), Universidad Tecnológica del Perú

Extraída de Pulido (<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/7063>).

- **Punto de trabajo**

la característica i-v del módulo lo fijan la resistencia R de la carga conectada y la corriente I_M aportada por el módulo que depende de la radiación solar. La tensión V_M proporcionada por el módulo se obtiene aplicando la ley de ohm. $V_M = I_M \cdot R$. Intensidad de la corriente: que proporciona un, modulo fotovoltaico es proporcional a la irradiancia de la radiación solar y aun que se cortocircuite no puede sobre pasar el valor de la corriente de cortocircuito L_{SC} .

- **Los efectos de temperatura**

En las características del efecto de temperatura son similares a los de una célula.

- La tensión de circuito abierto disminuye al aumentar la temperatura.
- La intensidad de cortocircuito aumenta al aumentar la temperatura.
- La potencia del módulo disminuye al aumentar la temperatura.

a) Módulo fotovoltaico monocristalino

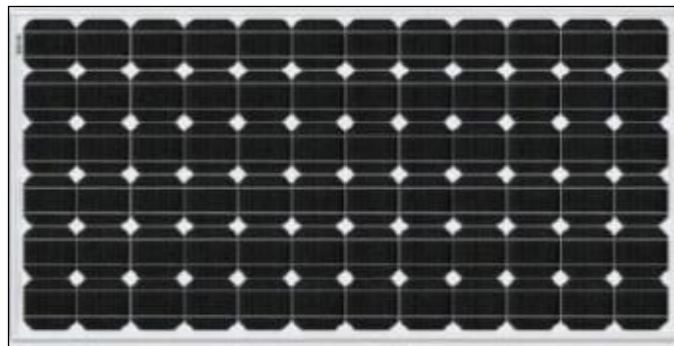
Los módulos fotovoltaicos monocristalinos son fabricados con silicio y son celdas de un solo cristal ya que en este tipo de tecnología el silicio no está fundido, sino que está cortado en láminas, lo que lo hace de una pureza más alta y mayor eficiencia, para reconocer este tipo de celdas son de un aspecto oscuro, uniforme de color en toda la superficie y bordes de forma redondeada (Otovo, 2022). Las características de un módulo fotovoltaico monocristalino son los siguientes:

- Son muy útiles en lugares donde exista poca radiación solar durante el día, ya que ofrecen muy buen rendimiento a condicione de poca luz.
- Son mucho más eficientes que los módulos policristalinos ya que utiliza silicio de un solo cristal, sin embargo, más costosas que los policristalinos.

En la Figura 10, se puede observas un módulo fotovoltaico policristalino con su característico aspecto de color oscuro y celdas con los bordes cilíndricos.

Figura 10

Módulo fotovoltaico monocristalino adaptado.



Nota. Extraída de *Tecnologías y tipologías de paneles fotovoltaicos*, [Fotografía], por Muñoz, A., 2020, SolarFam (<https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>).

b) Módulo fotovoltaico policristalino

Los módulos fotovoltaicos policristalinos son fabricados con silicio fundido que luego se colocan moldes para obtener las células fotovoltaicas policristalinas, este proceso conlleva a obtener eficiencias menores al de los monocristalinos, para reconocer este tipo de celdas tienen un aspecto azulino siendo los varios cristales de silicio visibles y tienen los bordes de las celdas

en forma cuadrada (Otovo, 2022). Las características de un módulo fotovoltaico policristalino son los siguientes:

- Su fabricación es más rápida que los monocristalinos lo cual involucra un menor costo en los módulos fotovoltaicos policristalinos.
- Tienen una menor eficiencia que los monocristalinos ya que utiliza silicio de varios cristales lo que conlleva a tener impurezas.

En la Figura 11, se puede observar un módulo fotovoltaico policristalino con su característico color azulino y celdas con los bordes cuadrados.

Figura 11

Módulo fotovoltaico policristalino adaptado.



Nota. Extraída de *Tecnologías y tipologías de paneles fotovoltaicos*, [Fotografía], por Muñoz, A., 2020, SolarFam (<https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>).

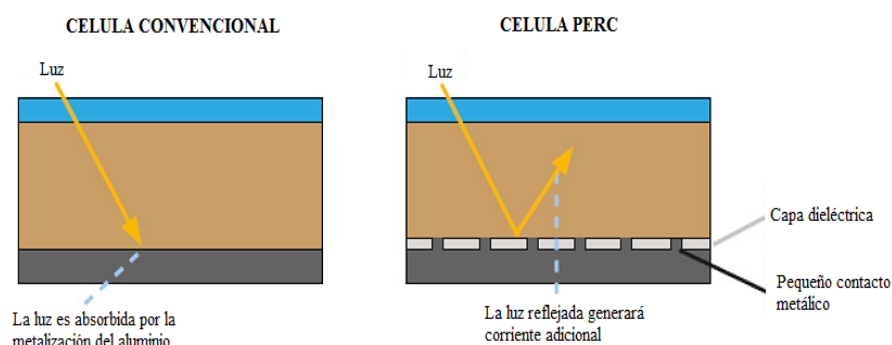
c) Tecnología fotovoltaica PERC

La tecnología PERC (*Passivated Emitter Rear Cell*) son módulos de última generación del sector fotovoltaico debido al incremento de rendimiento respecto a otros tipos de módulos fotovoltaicos como los monocristalino y policristalinos. Esta tecnología consiste en que una placa reflectante (dielectric layer) que tiene la función de aprovechar al máximo la radiación solar. Esta capa refleja el haz de luz a la célula fotovoltaica con lo que se aprovecha e incrementa la eficiencia total del módulo fotovoltaico (Tecnosolab & Iturbe, 2021).

La Figura 12 compara el funcionamiento de una célula solar convencional con una célula PERC. En la célula convencional, la luz es absorbida por la metalización de aluminio, mientras que en la célula PERC, la luz reflejada por una capa adicional genera corriente extra.

Figura 12

Funcionamiento de una célula tradicional y PERC adaptado.



Nota. Extraída de *Diseño y estimación de la productividad de 46 sistemas de riego*

fotovoltaico (p. 14), por Iturbe, C., 2021, Universidad Politécnica de Madrid

(https://oa.upm.es/77622/1/PFG_ITURBE_COBOS_CARLOS.pdf).

Según se indica en (SOLTEC, 2020), las ventajas que las células PERC nos pueden proporcionar frente a las células convencionales son los siguientes:

- Mayor rendimiento frente a las células convencionales en horas de la mañana, tarde y días nublados ya que tiene mayor sensibilidad a las longitudes de onda larga.
- Las células PERC generan menos calor que los convencionales, lo cual implica menor pérdida de energía por calentamiento de células fotovoltaicas.
- Mayor producción de energía que las células convencionales con baja irradiancia.

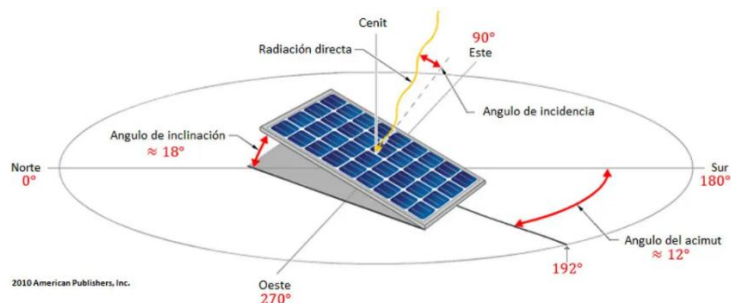
2.3.6 Angulo de inclinación y orientación de un módulo fotovoltaico

Para tener un máximo aprovechamiento de la radiación solar los módulos deberán estar orientados al norte (diversos libros mencionan la inclinación al sur debido a su ubicación geográfica) porque estamos en el hemisferio sur, de esta forma se consigue optimizar el tiempo de exposición a la radiación solar y el ángulo de incidencia mejorando la captación de energía solar (Pareja, 2020).

En la Figura 13, se puede apreciar el ángulo de inclinación y orientación de módulos fotovoltaicos.

Figura 13

Ángulo de inclinación y orientación de módulos fotovoltaicos.



Nota. Extraída de *Ubicación, orientación e inclinación de los paneles solares* [Ilustración], por Planas, O., 2016, Solar-Energia.net (<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/ubicacion-de-los-paneles-solares>).

2.3.7 Baterías

La batería o acumulador es un dispositivo electroquímico capaz acumular energía en forma química y transformarla en energía eléctrica. La batería utilizada para aplicaciones fotovoltaicas es la recargable, como se muestra en la Figura 14 (SFE-Solar, 2024).

Figura 14

Batería para sistemas fotovoltaicos.



Nota. Extraída de *Enerjet* [Fotografía], por Enerjet, 2025 (<https://www.enerjet.com.pe/>).

2.3.8 Controladores de carga

El regulador de carga es un equipo electrónico que evita la sobrecarga y descarga excesiva de un sistema cuando se alcanzan determinados niveles, generalmente determinados por la tensión en borde de una batería o acumuladores. Al generar una sobrecarga el regulador desconecta del generador de la batería o la mueve hacia otro lugar (Tamayo, 2019).

En la Figura 15, se presentan los reguladores de carga, los cuales son componentes esenciales en sistemas fotovoltaicos.

Figura 15

Controladores de carga.



Nota. Extraída de *Reguladores solares* [Fotografía], por Enertik, 2025, Enertik

(<https://enertik.com/cl/categoria/fotovoltaica/reguladores-solares/>).

2.3.9 Convertidor DC-DC

Los convertidores DC-DC son dispositivos electrónicos que permiten transformar un nivel de tensión continua en otro, ya sea reduciéndolo, elevándolo o estabilizándolo según las necesidades del sistema. En la Figura 16 se muestra el convertidor DC-DC tipo Buck, el cual se caracteriza por reducir la tensión de entrada para obtener una salida más baja y estable.

Figura 16

Convertidor DC-DC.



Nota. Extraída de *Convertidor de voltaje de 24VDC a 12VDC 20A OPALUX* [Fotografía], por IRElectronics, 2025, IRElectronics (<https://enertik.com/cl/categoria/fotovoltaica/>).

2.3.10 Interruptores termomagnéticos DC

El interruptor termomagnético en DC cumple la misma función de protección que en AC, pero su diseño, materiales y criterios de selección difieren significativamente debido a la naturaleza constante de la corriente continua. Esto lo convierte en un elemento esencial para la seguridad y confiabilidad de sistemas fotovoltaicos, instalaciones autónomas y aplicaciones donde se emplea energía solar o almacenamiento en baterías.

Seleccionar un interruptor termomagnético en DC implica considerar los mismos parámetros eléctricos que en AC, pero prestando atención especial a:

- Que esté certificado para DC.
- Que tenga polaridad definida.
- Que su capacidad de corte y tensión nominal sean adecuadas para el sistema en corriente continua.

Proceso de selección del interruptor termomagnético:

- a) **Seleccionar la corriente nominal del interruptor (I_n).**

$$I_n \geq 1.25 \times I_{\text{carga}}$$

b) Elegir la tensión nominal DC del interruptor

Debe ser igual o mayor a la tensión del sistema (12, 24, 48, 100, 250 VDC, etc.).

c) Definir el número de polos

- 12–48 V DC → 1 polo
- 48–100 V DC → 2 polos
- 100–250 V DC → 2–4 polos
- PV > 250 V → interruptor especial para fotovoltaico

d) Escoger la curva de disparo.

- **B:** cargas resistivas
- **C:** cargas comunes y fotovoltaico
- **D:** motores o inductivas

e) Verificar la capacidad de ruptura (kA).

Debe ser \geq a la corriente de cortocircuito del sistema, comúnmente 6 kA o 10 kA para baterías.

f) Confirmar compatibilidad con la aplicación.

- Sistemas FV → MCB DC-PV
- Bancos de baterías → MCB DC de alta corriente
- Equipos electrónicos → curva B o C

La selección del interruptor termomagnético DC se realiza considerando la corriente nominal del circuito, la tensión máxima DC permitida por el fabricante, la curva de disparo adecuada (siendo la curva C la más usada en sistemas fotovoltaicos), el número de polos necesarios para asegurar la extinción del arco, y la capacidad de ruptura según la corriente de cortocircuito del sistema. Estos criterios garantizan una protección efectiva y segura en instalaciones solares y sistemas DC.

En la Figura 17, se muestra el interruptor termomagnético en DC.

Figura 17

Interruptor termomagnético DC.



Nota. Extraída de *Interruptor termomagnético IK60 2×20A* [Fotografía], por Grupo Casa Lima, 2025, Grupo Casa Lima (<https://n9.cl/7jzh1>).

2.3.11 Interruptor diferencial

El interruptor diferencial, también conocido como dispositivo diferencial residual (DDR) o RCD (Residual Current Device), es un elemento de protección destinado a prevenir contactos eléctricos indirectos y evitar riesgos de electrocución o incendios provocados por fugas de corriente hacia tierra. Su función principal es detectar diferencias de corriente entre los conductores activos (fase y neutro) de un circuito y desconectar automáticamente la alimentación cuando dicha diferencia supera un valor predeterminado (IEC, 2018), , como se ilustra en la Figura 18.

Proceso de selección del interruptor diferencial:

a) Determinar el tipo de señal de fuga del sistema

Esto define el tipo de RCD:

- Tipo AC: solo corrientes alternas puras → iluminación, cargas simples.
- Tipo A: corrientes AC + pulsantes en DC → cargadores, electrónica.
- Tipo F: variadores monofásicos, motores electrónicos.
- Tipo B: corrientes AC + DC pura → módulos fotovoltaicos, baterías, inversores, vehículos eléctricos. (El más usado en sistemas fotovoltaicos).

b) Seleccionar la sensibilidad (mA)

- 30 mA: protección contra contactos indirectos (personas).
- 100–300 mA: protección contra incendios en tableros.
- En FV normalmente se usa 30 mA en tomas y cargas.

c) Elegir la corriente nominal del RCD (I_n)

Debe ser mayor o igual a la corriente del circuito:

- $I_n \geq I_{\text{carga}}$
- Valores típicos: 25 A, 40 A, 63 A, 80 A.

d) Elegir la tensión nominal

- En AC: 230/400 V
- En DC (solo tipo B): Según el sistema
- 12–48 V → 1 polo
- 48–100 V → 2 polos
- 100–1000 V (PV) → Tipo B especial para fotovoltaico

e) Verificar si es AC, DC o mixto

- Sistemas de inversores y módulos fotovoltaicos → Tipo B
- Circuitos comunes del microbús (AC del inversor) → Tipo A o AC

f) Revisar la capacidad de ruptura y selectividad

- Normalmente 6 kA o 10 kA
- Asegura que soporte el nivel de cortocircuito del sistema.

g) Confirmar compatibilidad con el uso

- Solar FV: RCD Tipo B
- Equipos electrónicos: RCD Tipo A
- Iluminación básica: RCD Tipo AC

Figura 18

Interruptor diferencial.



Nota. Extraída de INT. Termomagnético con protección diferencial NB1L 2×16A 30 mA 10 kA CHINT [Fotografía], por Jordan Perú, 2025, Jordan Perú (<https://n9.cl/vvh23>).

2.3.12 Porta fusibles

Es un dispositivo diseñado para alojar y sujetar fusibles eléctricos, permitiendo su fácil instalación, reemplazo y protección. Su función principal es garantizar la conexión segura del fusible dentro del circuito, evitando contactos inadecuados y asegurando la continuidad eléctrica cuando el fusible se encuentra en condiciones operativas. Además, facilita la desconexión rápida del circuito en caso de sobre corrientes o cortocircuitos (Schneider Electric, 2018), como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Porta fusibles.



Nota. Extraída de Portafusibles [Fotografía], por AutoSolar, 2025, AutoSolar (<https://autosolar.pe/portafusibles>).

2.3.13 Fusibles

El fusible es un dispositivo de protección eléctrica que consiste en un conductor metálico diseñado para fundirse cuando la corriente que circula por él supera un valor límite establecido. Su función es interrumpir el circuito en caso de sobre corriente o cortocircuito, evitando daños en la instalación y protegiendo a los equipos conectados (IEC, Low-voltage fuses – Part 1: General requirements (IEC 60269-1:2016). International Electrotechnical Commission, 2016).

Fórmula de selección del fusible:

$$I_{fusible} = 1.25 * I_{max\ cable} \quad (1)$$

Donde:

$I_{fusible}$: Es la corriente nominal del fusible en A.

$I_{max\ cable}$: Es la corriente máxima que el cable puede manejar.

Figura 20

Fisibles cilíndricos.



Nota. Extraída de *Bussmann low voltage IEC cylindrical fuses* [Fotografía], por Eaton, 2025, Eaton (<https://www.eaton.com/ar/es-mx/catalog/electrical-circuit-protection/bussmann-low-voltage-iec-cylindrical-fuses.html>).

2.3.14 Tablero de protección

El tablero de protección es un conjunto de equipos eléctricos cuya función principal es alojar y organizar los dispositivos de protección, maniobra y control de una instalación eléctrica. En él se instalan interruptores termomagnéticos, fusibles, diferenciales y otros elementos destinados a garantizar la seguridad de las personas y la integridad de los equipos frente a sobrecargas, cortocircuitos o fallas eléctricas. Además, permite una correcta distribución de la energía hacia los diferentes circuitos de la instalación (MINEM, 2006).

Figura 21

Tablero de protección.



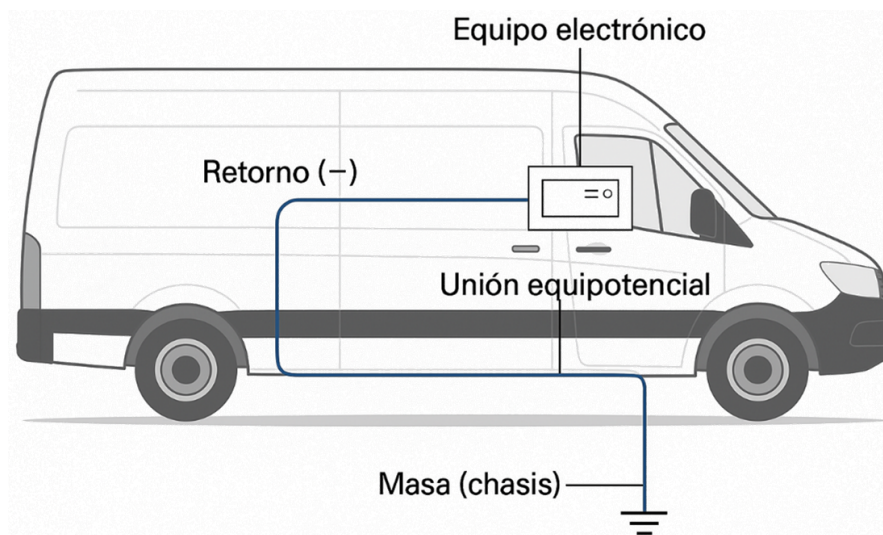
Nota. Extraída de *Tablero eléctrico adosado 500×400×200 mm* [Fotografía], por Tableros Eléctricos, 2021, Tableros Eléctricos (<https://tableroselectricos.com.pe/producto/tablero-electrico-adosado-500x400x200mm/>).

2.3.15 Conexión a masa en un microbús

La conexión a masa en un microbús consiste en unir las partes metálicas y equipos eléctricos al chasis del vehículo, creando una referencia equipotencial que protege a los usuarios frente a descargas eléctricas o fallas de aislamiento, garantizando la seguridad del sistema eléctrico móvil (CNE, 2020) , como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Conexión a masa.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.3.16 Medición de datos

La medición de datos en un sistema eléctrico o fotovoltaico consiste en el registro, monitoreo y análisis de variables eléctricas y ambientales que permiten evaluar el desempeño del sistema y garantizar su correcto funcionamiento. Entre los principales parámetros que se miden se incluyen: la irradiancia solar, la temperatura ambiente y del módulo, la tensión (V), la corriente (A), la potencia (W), y el estado de carga de las baterías. Estos datos son fundamentales para realizar el dimensionamiento adecuado, diagnosticar fallas, verificar la eficiencia del sistema y garantizar la seguridad operativa (Fraile, 2014).

2.3.17 Monitoreo

El monitoreo de datos se entiende como el proceso sistemático de recolección, análisis y supervisión continua de información proveniente de un sistema, con el fin de evaluar su desempeño, detectar fallas, optimizar su funcionamiento y garantizar su operatividad. En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos, el monitoreo de datos permite registrar variables como la irradiancia solar, el estado de las baterías, la producción de energía, el consumo eléctrico y

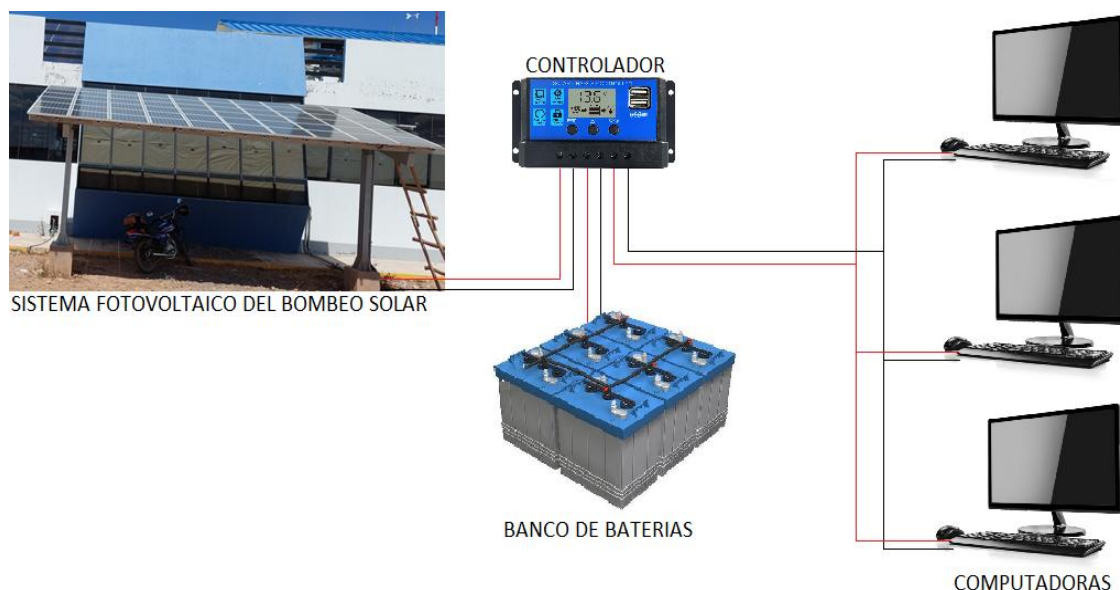
posibles incidencias técnicas, lo cual resulta esencial para mantener la eficiencia y prolongar la vida útil del sistema (Fraunhofer ISE, 2019).

2.3.18 Cargas en DC.

Son cargas que se alimentan en corriente continua que tiene un positivo y un negativo. Al respecto Ferina (2020) menciona que las instalaciones eléctricas que utilizan tensión continua están construidas con los mismos materiales funcionales que las de corriente alterna. En la Figura 23, se muestra el esquema de cargas en corriente continua.

Figura 23

Cargas en corriente continua.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.3.19 Programa calibre

Calibre es un programa gratuito y de código abierto para la gestión de libros electrónicos (eBooks) que sirve para organizar, convertir, editar y sincronizar tu colección de libros. Permite crear una biblioteca virtual organizada, editar metadatos como el título y autor, convertir formatos de archivo (como de MOBI a EPUB), y cargar libros a dispositivos de lectura electrónicos (Goyal, 2024).

Funciones principales del programa:

a) Gestión de biblioteca digital

Permite crear una base de datos con todos tus libros electrónicos, incluyendo título, autor, editorial, etiquetas, portada, etc.

b) Conversión de formatos

Convierte entre casi todos los formatos de e-book (por ejemplo, EPUB, MOBI, PDF, AZW3, DOCX, etc.), facilitando la compatibilidad con distintos lectores electrónicos.

c) Sincronización con dispositivos

Transfiere los libros directamente a lectores como Kindle, Kobo o PocketBook, ajustando automáticamente el formato adecuado.

d) Editor de metadatos

Permite modificar los datos del libro (autor, título, idioma, portada) para mantener una colección organizada.

e) Descarga de noticias y revistas

Puede conectarse a fuentes RSS y convertir las noticias o artículos en e-books para leerlos sin conexión.

f) Lector integrado

Incluye su propio visor de libros electrónicos con opciones de subrayado, marcadores y búsqueda de texto.

g) Capacidad del disco duro o almacenamiento del usuario

- Calibre guarda los libros en una carpeta llamada “*biblioteca de Calibre*”.
- Por tanto, el número máximo de libros depende del espacio disponible en tu disco.
- Por ejemplo, si un libro promedio en formato EPUB pesa unos 2 MB, con 10 GB de espacio libre podrías guardar aproximadamente 5 000 libros.

h) Rendimiento del equipo (RAM y procesador)

- En computadoras con buena memoria RAM (8 GB o más), Calibre puede manejar decenas de miles de títulos sin problemas.

- En equipos antiguos, cuando la biblioteca supera los 10 000–15 000 libros, el programa puede volverse un poco más lento.

i) Requisitos mínimos (para uso básico)

- **Sistema operativo:** Windows 10 / macOS 10.14 / Linux moderno.
- **Procesador:** Dual-core (por ejemplo, Intel Core i3 o AMD equivalente).
- **Memoria RAM:** 2 GB.
- **Almacenamiento:** Al menos 1 GB libre (más el espacio que ocupen tus libros).
- **Pantalla:** Resolución mínima de 1024×768 píxeles.

2.3.20 Pasos a considerar en el diseño del sistema fotovoltaico autónomo

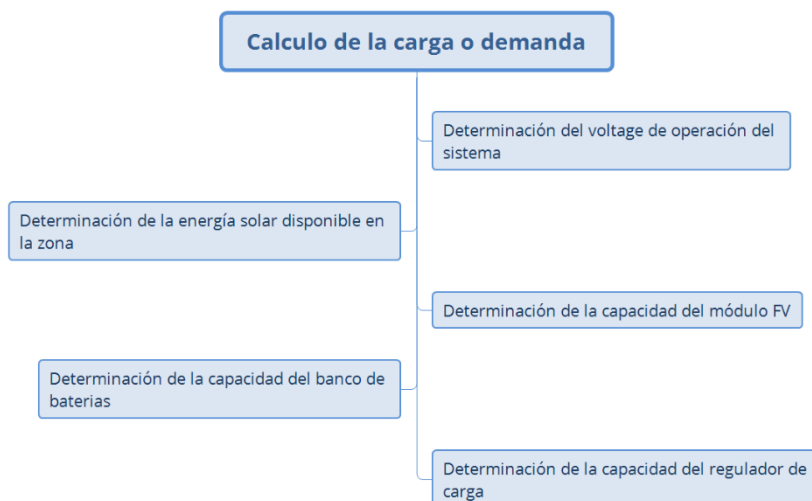
En el diseño de un sistema fotovoltaico (PV) autónomo, este puede llevarse a cabo de manera programada mediante software especializado o de forma manual utilizando cálculos simples. En este contexto, (Leocadio, 2012) propuso una metodología práctica que se caracteriza por su secuencia de pasos claros y fáciles de comprender, ofreciendo resultados confiables y eficientes en la implementación de este tipo de sistemas.

- Paso 1: Estimación de consumo.
- Paso 2: Cálculo del ángulo óptimo de inclinación.
- Paso 3: Dimensionamiento del generador fotovoltaico.
- Paso 4: Dimensionamiento del sistema de acumulación.
- Paso 5: Dimensionamiento del regulador.
- Paso 6: Dimensionamiento del inversor.
- Paso 7: Dimensionamiento del cableado del sistema.

En la Figura 24, se expone el diagrama de flujo del método aplicado para el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo. Dicho esquema representa de manera organizada y secuencial las etapas descritas anteriormente, facilitando la comprensión del procedimiento y garantizando un diseño sistemático y metodológicamente fundamentado.

Figura 24

Pasos para el diseño del sistema fotovoltaico.



Nota. Elaboración Propia (2025).

2.3.21 Estimación del consumo

Para efectuar la estimación, resulta fundamental determinar las cargas presentes en la instalación eléctrica. Durante la etapa de planificación se identifican y registran los equipos eléctricos que requieren ser alimentados mediante energía eléctrica. Esta demanda se proyecta con base en un consumo diario, considerando los parámetros que se detallan en la ecuación (2).

$$E_{diario} = P \cdot t \quad (2)$$

Donde:

E_{diario} : Consumo diario en [Wh].

P: Potencia del equipo en [W].

t: Tiempo de uso en horas [h].

2.3.22 Angulo de inclinación.

En los sistemas fotovoltaicos resulta fundamental definir adecuadamente el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, ya que este parámetro garantiza un mayor aprovechamiento de la

irradiancia, tal como se ilustra en la Figura 13. Generalmente, dichos ángulos se encuentran en un rango de **20° a 25°**, lo que no solo optimiza la captación de radiación solar, sino que también facilita el escurrimiento del agua de lluvia, contribuyendo al arrastre de polvo y partículas sólidas depositadas por suspensión en el aire. El valor clave en el cálculo del ángulo de inclinación corresponde a la latitud del lugar de instalación, la cual se obtiene a partir de la ubicación geográfica y se integra en la ecuación respectiva. (3).

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi| \quad (3)$$

Donde:

- β_{opt} : Ángulo óptimo de inclinación (°)
- ϕ : Latitud del lugar (°)

2.3.23 Diseño generador fotovoltaico

La determinación del número de módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda energética estimada se obtiene mediante la ecuación 4. Esta relación matemática permite calcular la cantidad de módulos requeridos en función de la potencia total del sistema y la potencia unitaria de cada módulo, garantizando así que el generador fotovoltaico pueda abastecer adecuadamente la carga prevista.

$$P_{panel} = \frac{E_{total}}{H_{sol} \cdot \eta} \quad (4)$$

Donde:

- P_{panel} : Potencia de módulo fotovoltaico
- E_{total} : Energía total
- H_{sol} : Horas de sol pico diarias en la región
- η : Eficiencia del sistema fotovoltaico

2.3.24 Dimensionamiento de la capacidad de la batería

Para garantizar la autonomía del sistema fotovoltaico, es necesario dimensionar una batería con capacidad suficiente para almacenar la energía requerida, de manera que pueda alimentar la carga durante la noche o en condiciones de baja irradiancia, como en días nublados. La capacidad de la batería se determina a partir de la Ecuación 5, la cual relaciona la energía demandada por el sistema con la tensión nominal de la batería, la profundidad de descarga admisible y otros factores de diseño que aseguran un funcionamiento confiable y prolongan la vida útil del acumulador (IEC G. , 2019).

$$C_{bateria} = \frac{E_{total}}{V_{bateria} \cdot DoD \cdot Eficiencia} \quad (5)$$

Donde:

- $C_{bateria}$: Capacidad de la batería.
- E_{total} : Energía total.
- $V_{bateria}$: Tensión nominal de la batería.
- DOD : Profundidad de descarga.

2.3.25 Horas de autonomía de batería

Una forma de hallar las horas que pueden durar una batería de dicha cualquier capacidad siguiendo la siguiente formula:

$$H_{autonomia} = \frac{C_{bat-nom} \cdot V_{sistema} \cdot DoD \cdot Eficiencia \cdot H_{uso-dia}}{Consumo_{diario}} \quad (6)$$

Donde:

- $C_{bat-nom}$: Capacidad de la batería nominal (Ah)
- $H_{uso-dia}$: Horas de diseño al día (horas)
- $V_{sistema}$: Tensión nominal de la batería(V)
- DOD : Profundidad de descarga.

- $Consumo_{diario}$: Consumo total diario (Wh/día)

2.3.26 Dimensionamiento del regulador

El regulador tiene como finalidad controlar el sistema frente a posibles sobrecargas de corriente, tomando en cuenta la intensidad generada por los módulos fotovoltaicos. En este sentido, la ecuación (7) permite determinar la corriente de consumo correspondiente.

$$I_c = \frac{P_{total_cargas}}{V_{bateria}} \quad (7)$$

Donde:

- I_c : Corriente de consumo
- P_{total_cargas} : Potencia total de las cargas del sistema
- $V_{bateria}$: voltaje de la batería

2.3.27 Sección de los cables

En un sistema fotovoltaico autónomo, el cálculo de la sección de los conductores eléctricos constituye un aspecto fundamental para garantizar un flujo adecuado de corriente y minimizar las pérdidas de energía. Una sección insuficiente en el cableado puede generar caídas de tensión significativas, sobrecalentamiento e incluso riesgos de falla en el sistema. Por ello, la elección del calibre de los conductores debe basarse en la intensidad de corriente a transportar, la longitud del trayecto, el material conductor (generalmente cobre o aluminio) y la tolerancia máxima de caída de tensión permitida según la normativa vigente (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U), aprobado por el Ministerio de Energía y Minas (2006), la caída de tensión en sistemas de baja tensión no debe superar el 3 % en líneas de alumbrado ni el 5 % en circuitos de fuerza, lo que constituye un criterio clave en la selección de la sección de los conductores.

Para dimensionar la sección de los cables, en instalaciones en DC suele usarse la ecuación basada en la caída de tensión máxima permitida la fórmula básica se muestra en la ecuación 8:

$$\Delta V = I \cdot R_{trayecto} \quad \text{donde} \quad R_{trayecto} = \frac{2\rho L}{A}$$

Despejando sección A (m^2).

$$A = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{\Delta V} \quad (8)$$

Donde:

- A : Sección del cable en 10^6 (multiplica por 10^6 para pasar a mm^2).
- ρ : Resistividad del cobre, $\rho=0.000000000178 \Omega \cdot mm^2/m$.
- I : Corriente nominal (en amperios).
- L : Longitud del cable (m) una sola vía; la fórmula incluye el factor 2 porque consideramos ida y retorno.
- ΔV : Caída de tensión máxima permitida (en voltios).

2.3.28 Soporte universal para módulos fotovoltaicos

La selección del material de los soportes debe considerar las condiciones climatológicas del lugar, la ubicación de la instalación y la capacidad de carga que estos deberán resistir (Powerack, 2023), como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Soporte universal para módulos fotovoltaicos.



Nota. Extraída de *Universal solar panel mounts arm pole brackets set for solar panels from 30W to 60W* [Fotografía], por Ubuy, 2025 (<https://www.ubuy.pe/sp/product/2BRW9L3S>).

2.3.29 Diseño tipo estático

Para la instalación de este tipo de sistemas, resulta esencial definir correctamente el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, ya que la eficiencia máxima únicamente se alcanza durante determinadas horas del día. Además, al tratarse de estructuras fijas, se facilita el acceso y, por ende, las labores de mantenimiento (Pulido & Ledesma , 2021) , como se ilustra en la Figura 26.

Figura 26

Sistema fotovoltaico.



Nota. Extraída de *Paneles Solares* [Fotografía], por AutoSolar, 2025, AutoSolar (<https://autosolar.pe/paneles-solares>).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La implementación de una biblioteca digital móvil en un microbús, equipada con computadoras alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaica, facilitará el acceso a recursos educativos en áreas remotas y de difícil acceso, contribuyendo a la mejora de la educación en comunidades vulnerables.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La determinación precisa de la demanda energética máxima permitirá dimensionar de forma adecuada el sistema fotovoltaico autónomo, asegurando la cobertura completa de las necesidades energéticas de la biblioteca digital móvil y sus equipos asociados.
- La implementación de un sistema de alimentación en corriente continua (DC) en las computadoras y dispositivos electrónicos incrementará la eficiencia energética general, al reducir las pérdidas por conversión y optimizar el rendimiento operativo del sistema.
- La adecuada ambientación y acondicionamiento del interior del microbús facilitará la integración funcional de los equipos tecnológicos y eléctricos, mejorando la organización, seguridad y aprovechamiento de los recursos educativos disponibles.

3.2 Materiales y equipos utilizados

3.2.1 módulo fotovoltaico

Modelo seleccionado: RenePV ZY550M10PH-144 (550 W).

Figura 27

Especificaciones del módulo fotovoltaico 550W.

RENEPV PHOTOLTAIC MODULE	
MODULE TYPE:	ZY550M10PH-144
Peak Power(Pmax)	(W): 550
Power Tolerance	(%): ± 3
Maximum Power Current(Imp)	(A): 13.48
Maximum Power Voltage(Vmp)	(V): 40.83
Short Circuit Current(Isc)±3%	(A): 14.04
Open Circuit Voltage(Voc)±3%	(V): 49.6
Weight	(kg): 28.6
Dimensions	(mm): 2279x1134x35
Maximum System Voltage	(VDC): 1500
Maximum Overcurrent Protection Rating	(A): 25
Safety Class	: Class II

WARNING
Electrical Hazard: This Unit Produces DC Electricity When Exposed To Light.Cover Glass Before Removing Terminal Junction Box lid.Do Not Disconnect Under Load.

All technical data at standard test condition:
AM=1.5 E=1000W/m² Tc=25°C

TUV C ULIS CE

Nota. Elaboración propia (2025), a partir de la etiqueta técnica del módulo fotovoltaico.

3.2.2 Batería de ciclo profundo

Modelo seleccionado: Leoch FT12-150 (12 V, 150 Ah)

Figura 28

Batería leoch 150Ah.



Nota. Elaboración Propia (2025), basada en la ficha técnica del equipo, ubicada en el Anexo VIII.

3.2.3 Controlador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Modelo seleccionado: Tracer Dream Series TD24107 (40 A)

Figura 29

Controlador MPPT 40.



Nota. Elaboración propia (2025), a partir de la imagen del equipo.

3.2.4 Convertidores DC-DC

Modelos seleccionados: UKC 40 A (DC 24V → 12V) y UKC 30 A (DC 24V → 12V)

Figura 30

Convertidor DC – DC.



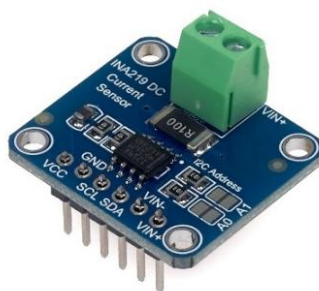
Nota. Extraída de *Reductor de voltaje DC 24V a 12V 40A DDC-40A UKC* [Fotografía], por Mercado Libre, 2025, Mercado Libre (<https://n9.cl/om6qpx>).

3.2.5 Sensores de monitoreo

Modelo seleccionado: INA219 que pueden medir voltaje y corriente máxima de 26V y 3.2A respectivamente.

Figura 31

Sensor INA219.



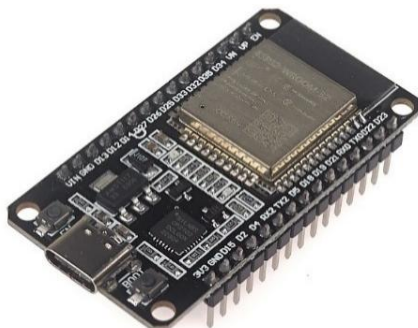
Nota. Extraída de *Monitor de corriente y voltaje High Side (INA219)* [Fotografía], por Naylamp Mechatronics, 2025, Naylamp Mechatronics (<https://n9.cl/643g4h>).

3.2.6 ESP32

Modelo seleccionado: ESP32 (microcontrolador con Wi-Fi y Bluetooth)

Figura 32

Microcontrolador ESP32.



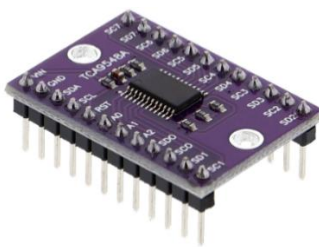
Nota. Extraída de *ESP32 DevKit V1 NodeMCU 32 (30 pin) ESP32 WiFi USB-C* [Fotografía], por Naylamp Mechatronics,2025, Naylamp Mechatronics (<https://n9.cl/igdia>).

3.2.7 Multiplexor I2C (TCA9548A)

Modelo seleccionado: TCA9548A (multiplexor I2C)

Figura 33

Multiplexor I2C (TCA9548A).



Nota. Extraída de *Multiplexor I2C TCA9548A 8CH* [Fotografía], por Naylamp Mechatronics, 2025, Naylamp Mechatronics (<https://n9.cl/0mq06f>).

3.3 Metodología de la investigación

3.3.1 Ámbito de estudio

La presente tesis se realizó en la sede de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), ubicada en la región de Puno, específicamente en la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías

Renovables. El proyecto se desarrolla en un microbús adaptado como biblioteca digital móvil, alimentado por un sistema fotovoltaico autónomo, el cual tiene como objetivo proporcionar acceso a recursos educativos digitales en zonas rurales y de difícil acceso. El área de implementación se encuentra en comunidades alejadas de la red eléctrica, y el microbús será utilizado para llevar la educación a estas localidades. La localización precisa de las instalaciones y el desarrollo del proyecto se muestran en la Figura 34, donde se detalla tanto la ubicación de la UNAJ como el recorrido y el ámbito de intervención del microbús.

Figura 34

Sede de la UNAJ en Ayabacas y localización del lugar del proyecto.



Nota. Adaptada de *Google Earth* [Imagen satelital], por Google, 2025, Google Earth (<https://earth.google.com>).

3.4 Tipo, nivel y diseño de investigación

3.4.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada y proyectiva, ya que busca resolver una problemática real mejorar el acceso a la educación en comunidades rurales sin acceso a energía eléctrica ni conectividad. Además, la investigación es proyectiva porque plantea una solución concreta con la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo.

3.4.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo-explicativo, ya que se busca describir y explicar cómo la implementación del sistema fotovoltaico y la biblioteca digital móvil mejoran el acceso a la educación en comunidades vulnerables.

3.4.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es cuantitativo no experimental en su fase técnica, realizando pruebas de campo y simulando condiciones reales de operación del sistema fotovoltaico en un microbús adaptado.

3.4.4 Población y muestra

La población está formada por las comunidades rurales que serán beneficiadas con el proyecto. No se realiza una muestra, ya que el proyecto tiene como objetivo beneficiar directamente a todas las comunidades rurales sin acceso a electricidad o conectividad.

3.5 Equipos utilizados y procedencia de los recursos

Para el desarrollo del presente proyecto se emplearon equipos e infraestructura previamente **donados a la Universidad Nacional de Juliaca** con fines de investigación y desarrollo tecnológico. Estos recursos provienen de un proyecto académico institucional ejecutado en semestres anteriores, en el cual los propios estudiantes participaron activamente en la gestión y adquisición de los bienes, con el compromiso de destinarlos exclusivamente a actividades de carácter científico y formativo.

La donación fue formalizada mediante actas y firmas de los estudiantes que intervinieron en el proyecto original, asegurando la transferencia del material al área de investigación correspondiente de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables.

Los equipos disponibles y actualmente utilizados en esta investigación son los siguientes:

- Un microbús donado y registrado como vehículo remolcable (denominado “chatarra”), adaptado para fines académicos como unidad base del sistema fotovoltaico.
- Diez computadoras personales (PCs), acompañadas de diez teclados y diez mouses.

- Diez sillas que forman parte del mobiliario interno.

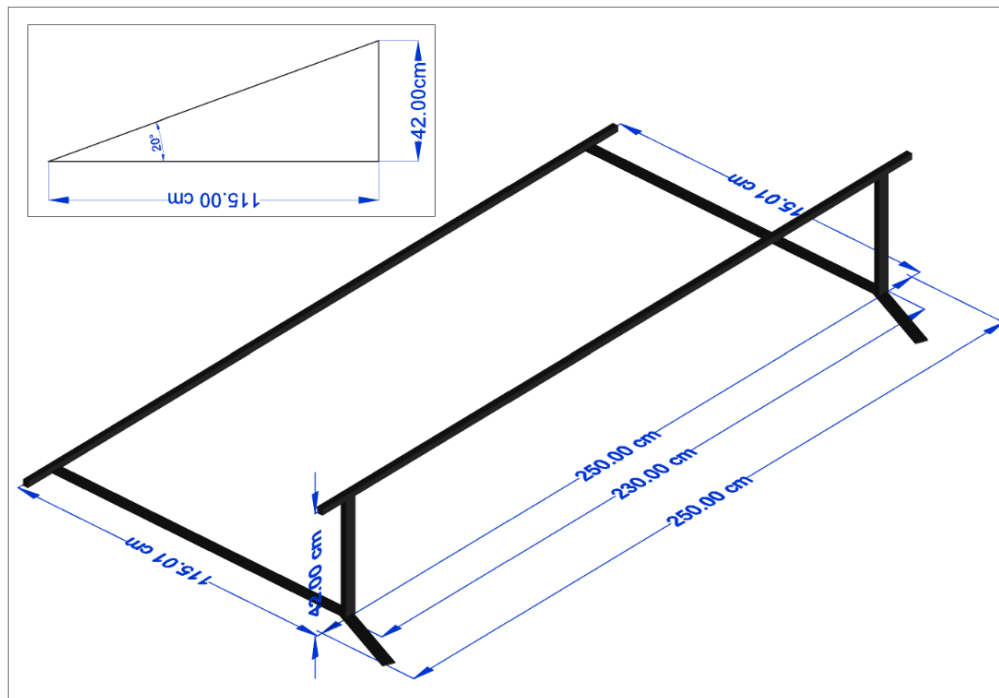
Estos equipos, aunque presentan condición de uso o recuperación parcial, constituyen una base fundamental para la implementación experimental de la biblioteca digital móvil.

3.6 Diseño de estructura

En la Figura 35 muestra la estructura metálica diseñada para instalar un módulo fotovoltaico en el techo del microbús. Está fabricada con tubo rectangular de 40×20×1.5 mm, suficiente para soportar un solo módulo sin añadir mucho peso. Las piezas están soldadas entre sí y fijadas a la carrocería del techo, garantizando rigidez y estabilidad. El módulo se sujeta mediante pernos, lo que facilita su montaje. La estructura mantiene el ángulo de 20° y la altura 42 cm.

Figura 35

Diseño de la estructura para el soporte del módulo fotovoltaico.



Nota. Elaboración Propia (2025).

3.7 Cálculo de demanda energética

En esta fase, se comenzó con el análisis de los dispositivos utilizados en la biblioteca digital móvil, particularmente las computadoras de bajo consumo, la iluminación LED, el router y el sistema de monitoreo energético.

3.7.1 Cálculo de la demanda energética diaria:

El cuadro de cargas presenta el consumo energético estimado de los dispositivos conectados al sistema, permitiendo calcular el total de energía utilizada en un periodo determinado. En este caso, se detalla el consumo de las computadoras, donde cada una tiene una potencia de 36 W y se estima que será utilizada 5 horas al día. Por lo tanto, el consumo energético diario se calcula utilizando la ecuación 2. El cálculo resultante se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1

Cuadro de cargas.

Equipo	V [V]	P. unit [W]	Cantidad	P. total [W]	h/día [h]	Energía [Wh/día]
PC bajo consumo	12	36	10	360	5	1800
Luminaria LED	12	15	1	15	2	30
Router Wifi	5	4.8	1	4.8	5	24
Nodo monitoreo (ESP32+INA219)	5	3	2	6	5	30
Ventilador 12V	12	2	2	4	5	20
TOTAL			16	389.8		1904

Nota. La tabla presenta el cálculo de la demanda energética diaria de los equipos utilizados en el sistema fotovoltaico autónomo.

3.8 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo

3.8.1 Cálculo de la potencia del módulo fotovoltaico

Utilizando la fórmula de la ecuación (4) para calcular la potencia del módulo fotovoltaico, tenemos:

$$P_{panel} = \frac{1904Wh / dia}{5h \cdot 0.8} \approx 476W$$

Por ende, se seleccionó un módulo fotovoltaico de 550W

3.8.2 Cálculo de la capacidad de la batería

El sistema necesita una batería que pueda almacenar la energía suficiente para alimentar el sistema durante la noche o en días nublados. La capacidad de la batería se calcula utilizando la fórmula de la ecuación (5):

$$C_{bateria} = \frac{1904Wh / dia}{12V \cdot 0.7 \cdot 0.9} \approx 251.85Ah$$

Esto indica que se necesitarían 251.85 Ah de capacidad de la batería para cubrir el consumo de 1904 Wh/día, si no tuviéramos un módulo fotovoltaico.

Si el módulo fotovoltaico de 550 W recibe 5 horas de sol pico, la energía generada por el módulo fotovoltaico será 2750 Wh/día

$$\text{Energía sobrante generada} = 2750Wh - 1904Wh = 846Wh / día$$

Esto significa que el módulo fotovoltaico genera 846 Wh extra cada día, que se puede utilizar para recargar la batería.

El módulo fotovoltaico cubre la demanda energética diaria, pero la batería actúa como apoyo cuando hay poca radiación solar, permitiendo un tiempo adicional de uso durante la jornada laboral. Esto asegura que los dispositivos continúen funcionando incluso en condiciones de baja radiación o durante periodos nublados.

Para calcular las horas adicionales de uso que la batería puede proporcionar, se utiliza la siguiente ecuación 6:

$$H_{autonomia} = \frac{150Ah \cdot 12V \cdot 0.7 \cdot 0.9 \cdot 5}{1904Wh / dia} \approx 2.98horas$$

La batería proporciona aproximadamente 3 horas de autonomía adicional, lo que, sumado a la energía generada por el módulo fotovoltaico, permite un total de 8 horas de funcionamiento continuo. Este tiempo es ideal para cubrir los horarios laborales de las instituciones educativas, asegurando que los equipos continúen operando de manera eficiente durante la jornada escolar, incluso en condiciones de baja radiación solar.

3.8.3 Cálculo del controlador de carga

Primero, se calcula la corriente que debe manejar el controlador con base en la potencia total del sistema (389.8 W) y la tensión del sistema (12 V). utilizando la ecuación 7 el cálculo es:

$$I_c = \frac{389.8W}{12V} \approx 32.48A$$

Esto nos da la corriente básica que el controlador debe manejar, sin tener en cuenta posibles picos o fluctuaciones.

Luego, para proteger el controlador de posibles picos de corriente y asegurar su durabilidad, se agrega un factor de seguridad. El factor de seguridad utilizado es 1.25 de acuerdo a las normas IEC 61730 y IEC 61215.

Entonces, multiplicamos la corriente calculada (32.48 A) por el factor de seguridad (1.25):

$$I_{c_final} = 32.48 \cdot 1.25 \approx 40.6A$$

3.8.4 Equipos de monitoreo energético y validación

El sistema de monitoreo energético instalado permite medir el consumo de cada equipo mediante los sensores INA219. Cada computadora tiene un sensor instalado, y los datos de corriente y voltaje se envían a un microcontrolador ESP32, que procesa los datos y los transmite automáticamente a Google Sheets.

Este sistema de monitoreo no solo permite obtener datos de consumo en tiempo real, sino que también ofrece la posibilidad de analizar tendencias de consumo durante diferentes períodos. La visualización remota de los datos en Google Sheets permite a los operadores del sistema supervisar el desempeño energético desde cualquier lugar, sin necesidad de estar físicamente en el microbús.

Este enfoque de monitoreo también facilita la gestión eficiente de la energía, ya que se pueden hacer ajustes en el uso de los dispositivos según el comportamiento real de consumo, optimizando la duración de la batería y asegurando que el sistema fotovoltaico opere dentro de los márgenes de eficiencia previstos.

Durante las pruebas de validación del sistema, se verificó que los sensores INA219 estaban midiendo correctamente la corriente y el voltaje de cada computadora, con una alta precisión de $\pm 1\%$. Los datos fueron correctamente transmitidos al ESP32, procesados y luego enviados a Google Sheets sin errores, lo que confirmó la fiabilidad del sistema de monitoreo.

3.8.5 Dimensionamiento de la sección de los cables

En este punto, se realizará el dimensionamiento de los cables del sistema fotovoltaico y la selección de los fusibles y termomagnéticos para proteger los componentes del sistema. Las decisiones se basan en las corrientes estimadas del sistema, las longitudes de los cables, la caída de tensión máxima permitida y las normativas aplicables.

Para dimensionar la sección de los cables, se utiliza la siguiente fórmula básica de la ecuación (5). En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos, se suele permitir una caída de tensión de un **3%** para optimizar la eficiencia del sistema, es decir, $\Delta V = 0.03 \cdot V_{total}$

3.8.6 Datos del sistema

Corriente del sistema: El sistema tiene 10 PCs, y cada PC consume 36 W a 12 V, lo que da una corriente de 3 A por PC. La corriente total para 10 PCs es 30 A.

Longitudes de los cables:

- Módulo fotovoltaico a controlador MPPT: 10 m.
- Controlador a batería: 2 m.
- Controlador a convertidores DC-DC: 2 m.
- Convertidor a PCs (distancia más lejana): 3 m.
- Caída de tensión máxima permitida: 3% de la tensión nominal (12 V).

3.8.7 Sección de cable entre el módulo fotovoltaico y el controlador MPPT

- Corriente: 13.47 A (de acuerdo con la potencia del módulo fotovoltaico 550 W).
- Longitud del cable: 10 m.
- Caída de tensión máxima permitida: 3% de 24 V.

$$A_{panel-controlador} = \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8} \times 13.47 A \times 10 m}{0.03 \times 40.83 V} = 3.91 mm^2$$

Selección: Se selecciona un o 4 mm², ya que 3.91 mm² no existe en el mercado.

3.8.8 Sección de cable entre el controlador MPPT y la batería:

- Corriente: 45.83 A.
- Longitud del cable: 2 m.
- Caída de tensión máxima permitida: 3% de 13 V.

$$A_{\text{controlador-batería}} = \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8} \times 45.83 \text{ A} \times 2 \text{ m}}{0.03 \times 13 \text{ V}} = 8.37 \text{ mm}^2$$

Selección: Se selecciona un cable 8.37 mm².

3.8.9 Sección de cable entre el controlador MPPT y los convertidores DC-DC:

- Corriente: 30 A.
- Longitud del cable: 2 m.
- Caída de tensión máxima permitida: 3% de 13 V.

$$A_{\text{controlador-convertidor}} = \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8} \times 30 \text{ A} \times 2 \text{ m}}{0.03 \times 13 \text{ V}} = 5.48 \text{ mm}^2$$

Selección: Se selecciona un cable de 6 mm².

3.8.10 Sección de cable entre el convertidor DC-DC y las PCs

- Corriente: 15 A (5 PCs por cada convertidor).
- Longitud del cable: 3 m.
- Caída de tensión máxima permitida: 3% de 12 V.

$$A_{\text{convertidor-pcs}} = \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8} \times 15 \text{ A} \times 3 \text{ m}}{0.03 \times 13 \text{ V}} = 4.10 \text{ mm}^2$$

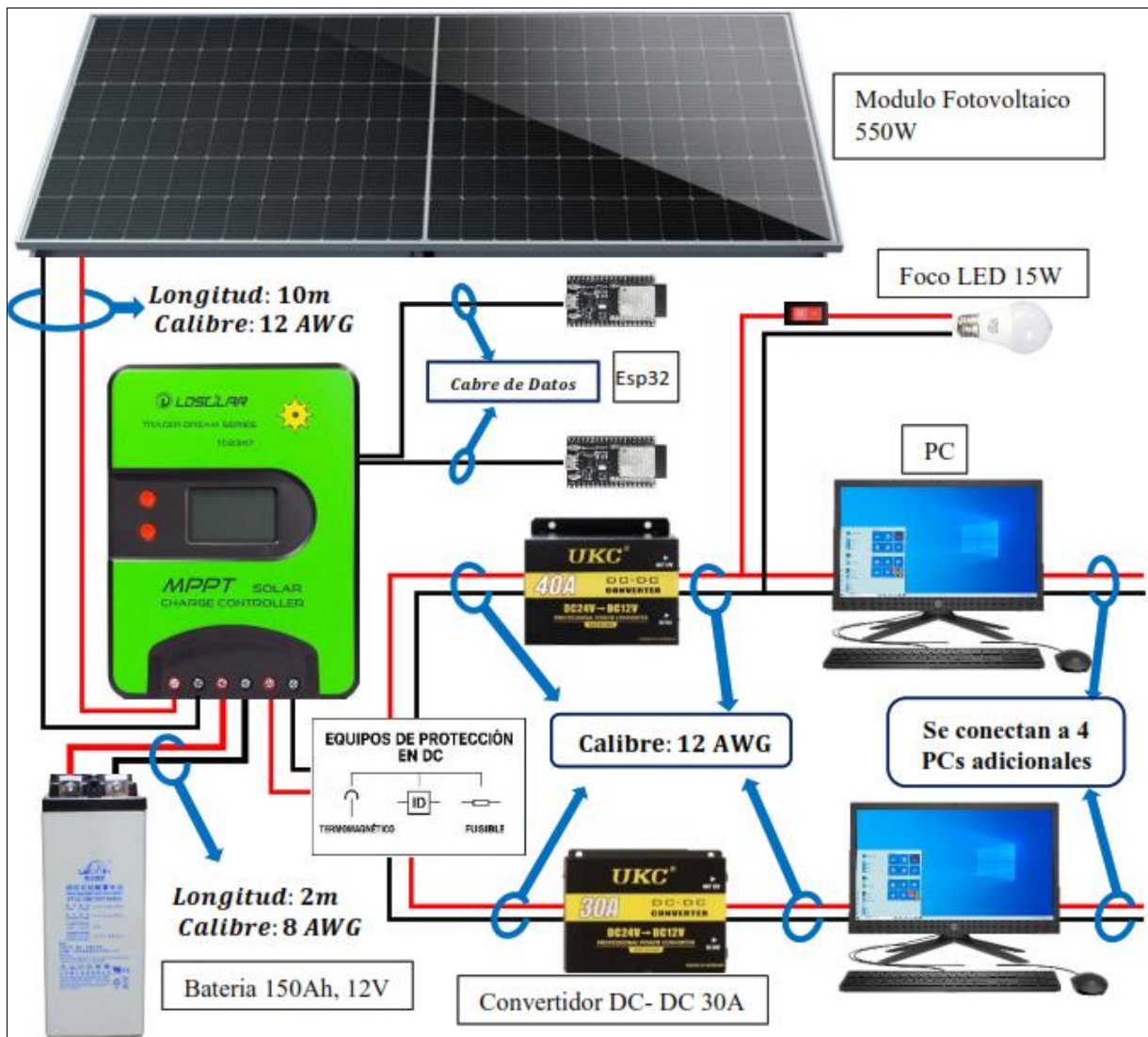
Selección: Se selecciona un cable de 4 mm².

La figura 36 muestra un esquema unifilar del sistema fotovoltaico autónomo instalado en un microbús. En la parte superior se encuentra un módulo fotovoltaico de 550 W, que capta la energía solar y la transmite hacia el controlador MPPT de 40 A mediante un conductor de 10 m de longitud y sección de 3.91 mm² (12 AWG). Desde el controlador, la energía fluye hacia una batería de 150 Ah ubicada en la parte inferior, utilizando un conductor de 2 m y 8 AWG (8.37 mm²). Del mismo controlador parten dos líneas de salida hacia dos convertidores DC-DC (24 V

a 12 V), uno de 40 A y otro de 30 A, que estabilizan el voltaje para alimentar las cargas en corriente continua (como computadoras, iluminación o routers). Cada convertidor se conecta mediante conductores de 12 AWG y 4 m de longitud.

Figura 36

Esquema unifilar del sistema fotovoltaico autónomo en corriente continua (DC).



Nota. Elaboración Propia (2025).

3.8.11 Fusibles:

Los fusibles protegen el sistema desconectando el circuito cuando la corriente excede la capacidad de los cables y componentes del sistema. Los fusibles se dimensionan basándose en

la corriente máxima del sistema y proporcionando un margen de seguridad de acuerdo a la ecuación 1.

Para un sistema de 30 A se multiplica con el factor de seguridad:

$$I_{fusible} = 1.25 \times 30A \approx 37.5A$$

Por lo tanto, seleccionamos un fusible de 40 A para garantizar protección sin dispararse durante el funcionamiento normal.

3.8.12 Interruptores termomagnéticos:

Para la protección del sistema se seleccionó un interruptor diferencial considerando el tipo de corriente de fuga generada por la instalación. Dado que los sistemas fotovoltaicos pueden producir componentes de corriente continua, se requiere un diferencial Tipo B, capaz de detectar fugas en AC, DC y señales mixtas. Este tipo de protección garantiza una detección adecuada de fallas a tierra, cumpliendo con los requisitos de seguridad eléctrica. La selección se basó en una sensibilidad de 30 mA y una corriente nominal superior a la del circuito protegido

La corriente máxima del cable es 30 A:

$$I_{interruptor} = 1.25 \times 30A \approx 37.5A$$

Seleccionamos un interruptor de 40 A para proteger el sistema de sobrecargas.

3.8.13 Iluminación

La iluminancia y su distribución sobre las áreas de las tareas y el área circundante tienen un impacto principal en cómo una persona percibe y ejecuta la tarea visual con rapidez, seguridad y comodidad (CNE-TOMO V, 2006).

Se deberá proveer una adecuada iluminación en todos los espacios de trabajo alrededor de los equipos eléctricos.

Datos:

- Potencia del foco: 15 W (DC, tipo LED)
- Eficiencia típica: 180 lm/W \rightarrow 15 W \times 180 = 2700 lúmenes aprox.

- Altura del foco: 1.70 m
- Dimensiones del microbús: 5 m (largo) × 1.8 m (ancho) = 9 m²

Cálculo aproximado del nivel de iluminación (lux):

$$Lux = \frac{Flujo_luminoso}{Area} \quad (9)$$

$$Lux = \frac{2700}{9} = 300lux$$

Se instaló un único foco LED de 15 W – 7000 K, el cual proporciona aproximadamente 300 lux o 2700 lúmenes, cumpliendo el valor mínimo recomendado por la normativa para actividades de lectura y uso de computadoras, que establece un rango de 300 a 500 lux (2700-4500 lúmenes). Dado que el microbús opera mayormente durante el día y cuenta con iluminación natural, este nivel es adecuado para garantizar condiciones de trabajo confortables y seguras. Asimismo, optar por una sola luminaria reduce el consumo energético y contribuye a mejorar la autonomía del sistema fotovoltaico.

3.8.14 Tablero de protección IP66

Un tablero metálico adosable de 600 × 400 × 200 mm, con puerta blindada y protección IP66, es un gabinete hermético diseñado para resguardar equipos eléctricos en condiciones exigentes. En sistemas fotovoltaicos se utiliza para proteger controladores, interruptores, fusibles y protecciones DC/AC, evitando daños por polvo, humedad y exposición ambiental.

Características del tablero.

- **Dimensiones:** 600 mm (alto) × 400 mm (ancho) × 200 mm (profundidad).
- **Material:** chapa de acero galvanizado o pintado en polvo epoxi.
- **Color:** gris claro RAL 7035, estándar en tableros eléctricos industriales.
- **Tipo:** adosar, es decir, se instala fijado a una pared o estructura.
- **Puerta:** con bisagras y cierre metálico, puede incluir junta de goma para estanqueidad.
- **Grado de protección:** IP66, lo que significa que es completamente estanco al polvo y protegido contra chorros potentes de agua (según norma IEC 60529).

3.9 Adaptación de alimentación a corriente continua

Las computadoras de bajo consumo utilizadas en este proyecto están diseñadas para funcionar directamente a corriente continua (DC). Estas computadoras, que normalmente cuentan con un rectificador para convertir CA a DC, pueden alimentarse directamente con 12V DC, como se especifica en sus data sheets. Debido a que el sistema fotovoltaico genera 12V DC a partir de las baterías de 12V, no es necesario un inversor, lo que mejora la eficiencia energética.

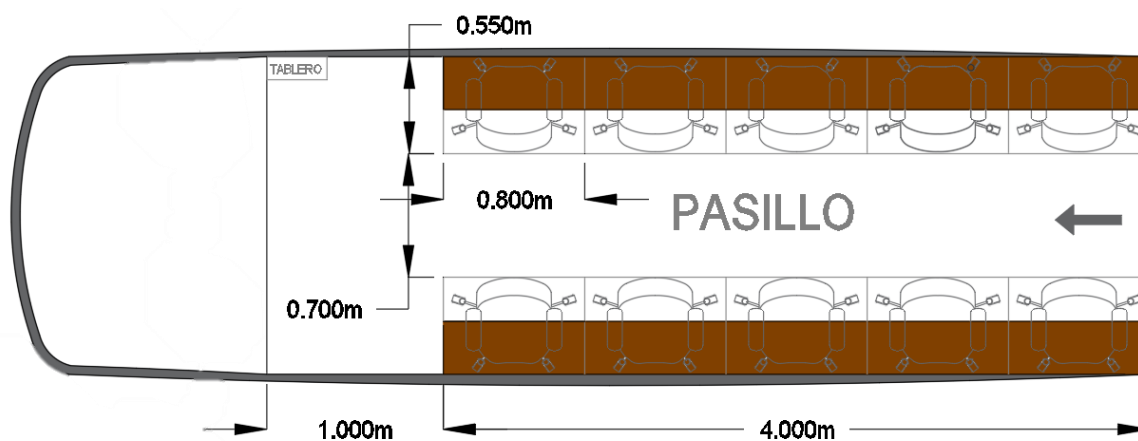
Para garantizar una salida constante de 12V DC, se utilizaron convertidores DC-DC, que estabilizan la fluctuación de voltaje.

3.9.1 Distribución interior y acondicionamiento ergonómico

El microbús fue acondicionado como un aula digital móvil, optimizando el espacio útil y cumpliendo los criterios mínimos de ergonomía, seguridad y habitabilidad establecidos en el RNC – Título III y en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), complementados por la Norma Técnica del Mobiliario Educativo del Minedu (2022) y la Guía INSST (2025).

Figura 37

Distribución interior del microbús educativo digital.



Nota. Elaboración Propia (2025).

De acuerdo a la Figura 37 el vehículo posee un área útil de 9.00 m² (5.00 m × 1.80 m). La zona frontal, de 1.00 m, se destinó al docente y la zona posterior, de 4.00 m, a los estudiantes. En esta se instalaron dos mesas laterales con cinco computadoras por lado, separadas por un pasillo

central de 0.50 m. Cada estación de trabajo cuenta con un área individual de 0.52 m² (0.65 m × 0.80 m), suficiente para la mesa, el equipo informático y la manipulación del usuario.

El diseño se contrasta con la normativa vigente, aunque el RNE A.040 recomienda 0.90 m para pasillos en edificaciones fijas, el RNC – Título III permite adaptaciones dimensionales en unidades móviles siempre que se garantice un tránsito seguro y accesibilidad a cada puesto, condición que el microbús cumple por su naturaleza vehicular. Asimismo, las normas del RNE – Serie A.0.30 a A.110 establecen requerimientos mínimos de mobiliario y áreas de circulación que son satisfechos por la distribución implementada.

En cuanto al espacio por estudiante, la Norma Técnica del Mobiliario Educativo (MINEDU, 2022) exige entre 0.50 y 0.60 m², por lo que el valor aplicado (0.52 m²) se encuentra dentro del rango normativo. De manera complementaria, la Guía INSSST (2015) recomienda superficies entre 0.55 y 0.80 m² para puestos con computadoras; el valor del microbús se aproxima al límite inferior, siendo aceptable por tratarse de un ambiente móvil. Finalmente, según el RNE A.130 – Art. 20, este espacio se clasifica como edificación de uso especial, permitiendo configuraciones espaciales adaptadas siempre que se garantice ergonomía, seguridad, ventilación e iluminación adecuadas, condiciones cumplidas en el diseño presentado.

3.10 Instalación y acondicionamiento del microbús

El microbús fue adaptado para albergar todos los equipos, con modificaciones estructurales como la instalación del módulo fotovoltaico, monitores, mesas, sillas y tablero de distribución. Se optimizó el espacio interior para asegurar el confort de los usuarios, tal como se muestra en la Figura 38, que ilustra las condiciones iniciales del microbús. En la Figura 39, se observa el proceso de soldadura y reparación de las partes estructurales, la Figura 40 muestra la pintura del interior del microbús. La Figura 41 documenta la instalación de la alfombra en el piso, la Figura 42 se ve la adaptación de las mesas para los teclados y mouses de las PCs, la Figura 43 muestra la instalación de cortinas, y la Figura 44 documenta la instalación del módulo fotovoltaico en el techo del microbús.

Figura 38

Estado inicial del microbús con grietas en las uniones estructurales.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 39

Soldadura y reparación de partes estructurales para asegurar la estabilidad del vehículo.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 40

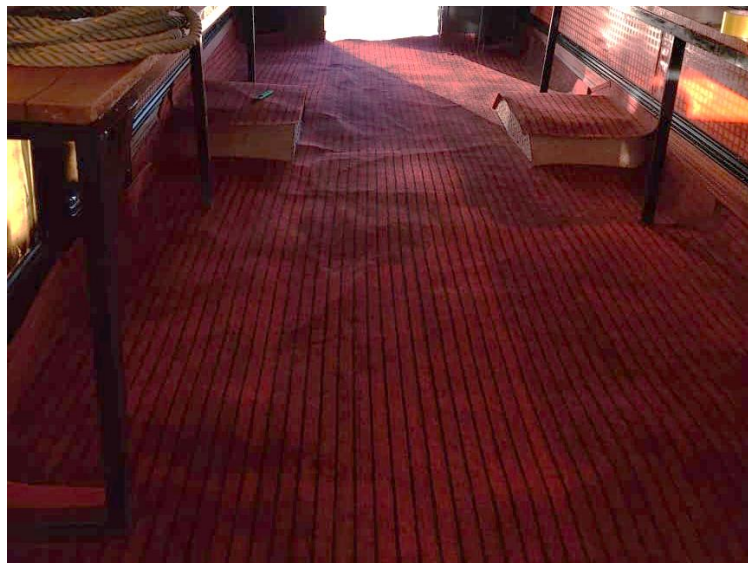
Pintura del interior del microbús para mejorar la estética y protección contra corrosión.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 41

Instalación de alfombra en el piso para mejorar el aislamiento térmico.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 42

Reparación y adaptación de las mesas para colocar teclado y mouse de las PCs en ambos lados del microbús.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 43

Instalación de cortinas en las ventanas para proporcionar privacidad y mejorar el confort.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 44

Instalación del módulo fotovoltaico en el techo del microbús para captar energía solar.



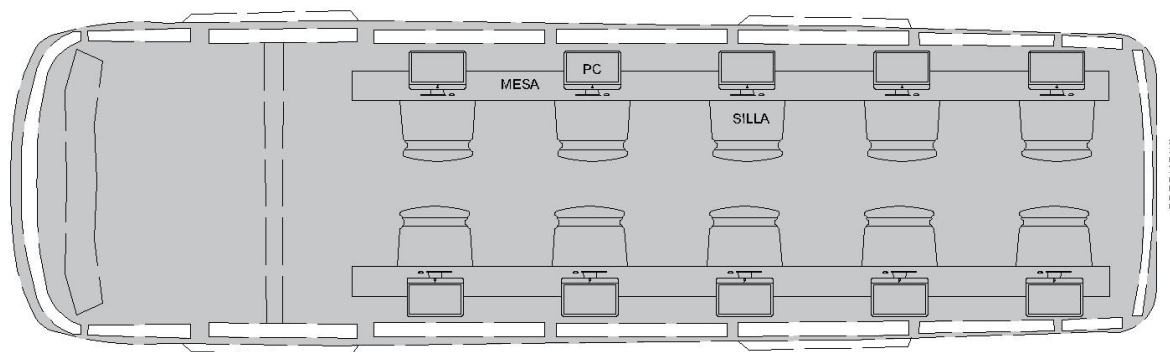
Nota. Elaboración Propia (2025).

3.11 Esquemas eléctricos

La Figura 45 muestra la distribución de los equipos dentro del microbús, donde se han instalado diez computadoras en total, distribuidas de manera simétrica en dos filas: cinco computadoras a cada lado del pasillo central.

Figura 45

Plano de distribución de los equipos.



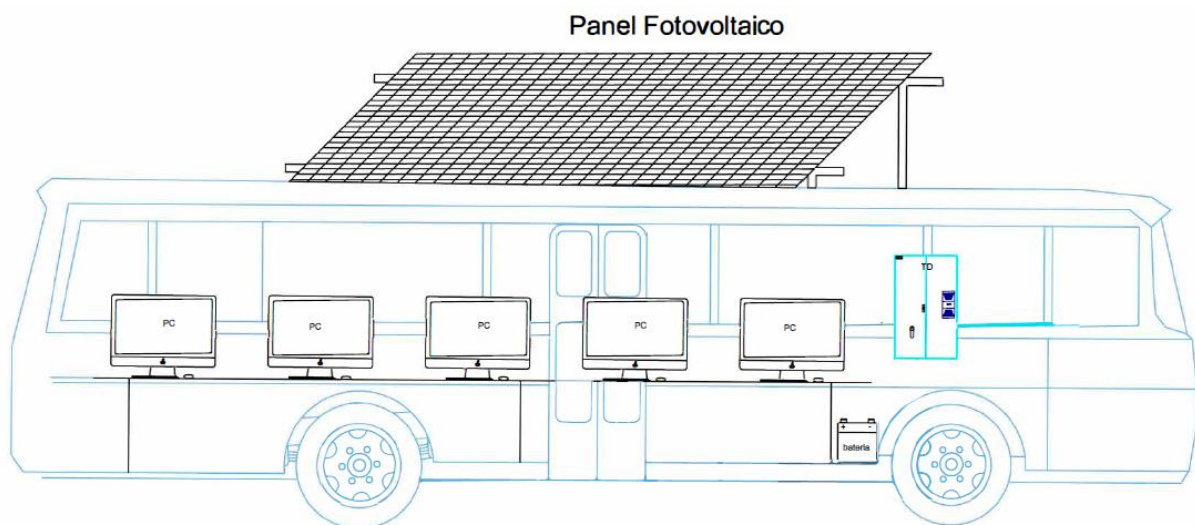
Nota. Elaboración Propia (2025).

La Figura 46 muestra el plano de montaje del sistema fotovoltaico implementado en el microbús. En la parte superior se observa el módulo fotovoltaico, encargado de captar la energía solar. Dentro del vehículo se ubican las computadoras (PCs) alineadas sobre las mesas de trabajo. En la parte delantera del microbús se encuentran los componentes eléctricos principales, incluyendo

el tablero de distribución (TD) y la batería, los cuales permiten almacenar y distribuir la energía generada.

Figura 46

Plano de montaje.

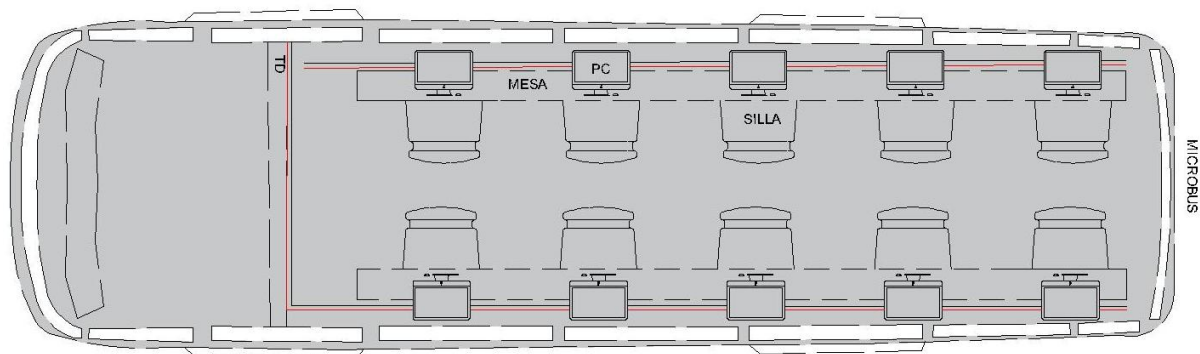


Nota. Elaboración Propia (2025).

En la Figura 47 se presenta la distribución del sistema eléctrico del microbús adaptado como aula móvil. En ella se aprecia el recorrido del cableado que suministra energía a las diez computadoras instaladas sobre mesas con sus respectivas sillas. El sistema se origina en el tablero de distribución (TD) ubicado en la parte frontal del vehículo, desde donde se derivan las líneas eléctricas hacia cada estación de trabajo. Esta disposición garantiza una alimentación uniforme, una instalación ordenada del cableado y un funcionamiento seguro y eficiente de los equipos dentro del microbús.

Figura 47

Plano eléctrico.

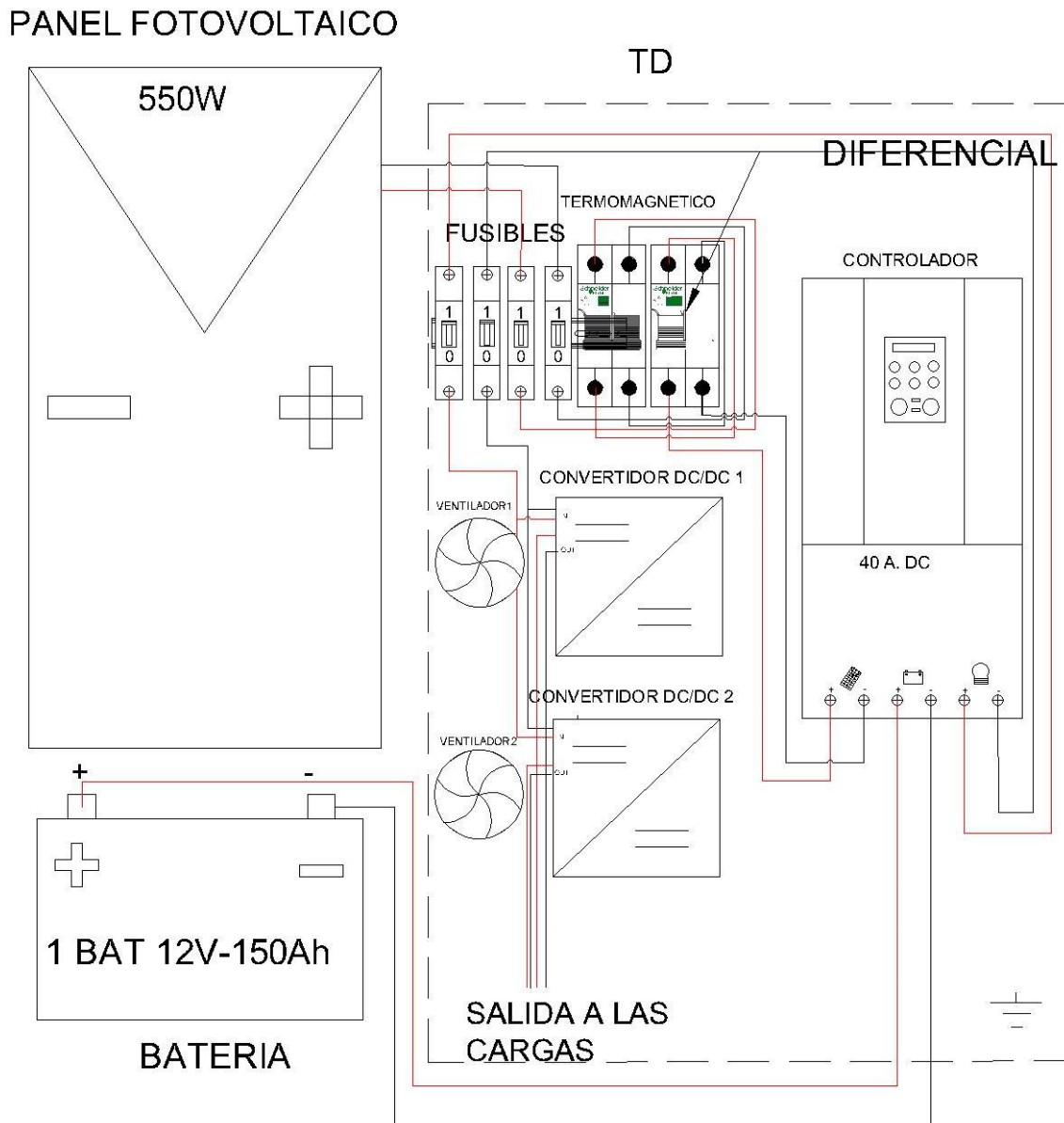


Nota. Elaboración Propia (2025).

En la Figura 48 se presenta el sistema fotovoltaico, conformado por un módulo fotovoltaico de 550 W que genera energía y la envía al tablero de distribución (TD). En el tablero se ubican los fusibles, interruptor termomagnético y diferencial, que protegen contra sobrecargas, cortocircuitos y fugas de corriente. El controlador solar regula la energía hacia una batería de 12 V–150 Ah, que almacena la energía para su uso posterior. Desde la batería, la energía se distribuye mediante convertidores DC/DC que ajustan el voltaje necesario para las cargas, mientras ventiladores en el tablero aseguran una adecuada ventilación y operación segura del sistema.

Figura 48

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.



Nota. Elaboración Propia (2025).

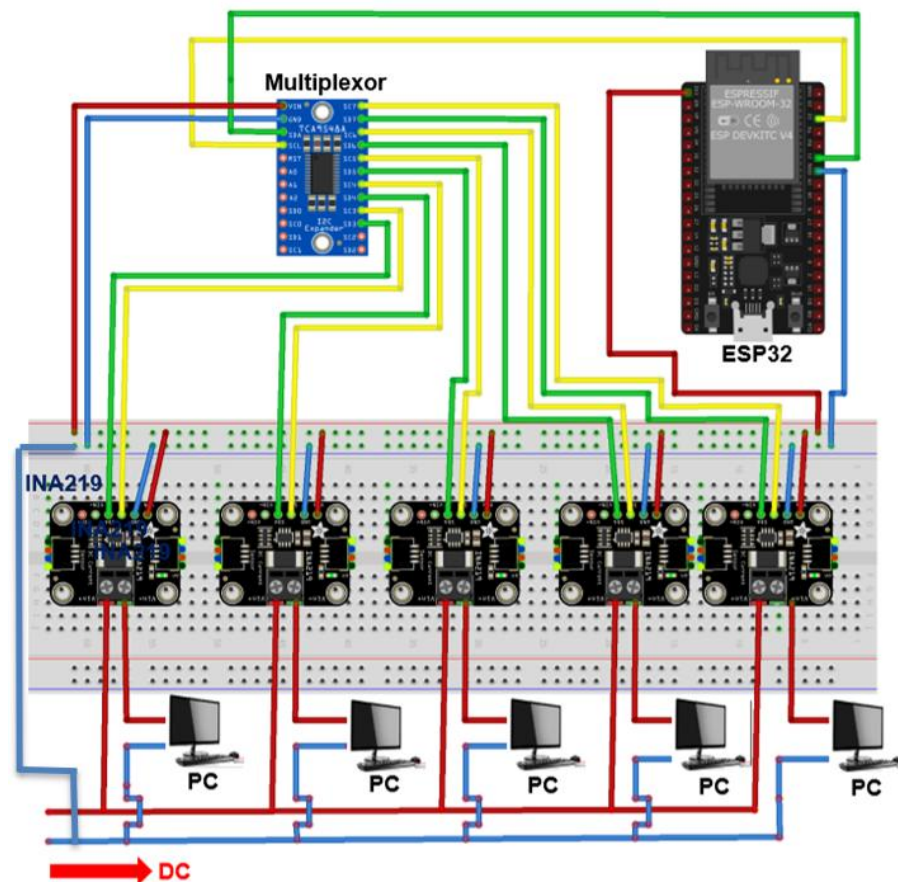
En la Figura 49 se muestra el esquema de conexiones del sistema de monitoreo, donde se detallan los enlaces eléctricos entre el ESP32, el multiplexor I²C y los sensores.

Los cables de color rojo y azul representan las líneas de alimentación positiva (+V) y negativa (GND), respectivamente. El cable de color verde corresponde a la línea SDA (datos) de cada

sensor hacia el multiplexor I²C, mientras que el cable de color amarillo representa la línea SCL (reloj) de cada sensor, también conectada al multiplexor. A su vez, el multiplexor se comunica con el ESP32 mediante sus propias líneas SDA y SCL, permitiendo la gestión secuencial de cada canal I²C. Además, los sensores se encuentran conectados en serie por el lado positivo del cable que se dirige hacia la computadora, lo que permite una lectura organizada de las corrientes y tensiones en el sistema. El ESP32 recibe su alimentación a través de una conexión tipo C, suministrando 5 V de entrada. También es importante señalar que todo el sistema de monitoreo ha sido diseñado para subir los datos recolectados automáticamente a Google Sheets.

Figura 49

Esquema de conexión del ESP32, multiplexor I²C, sensores INA219 y PCs.

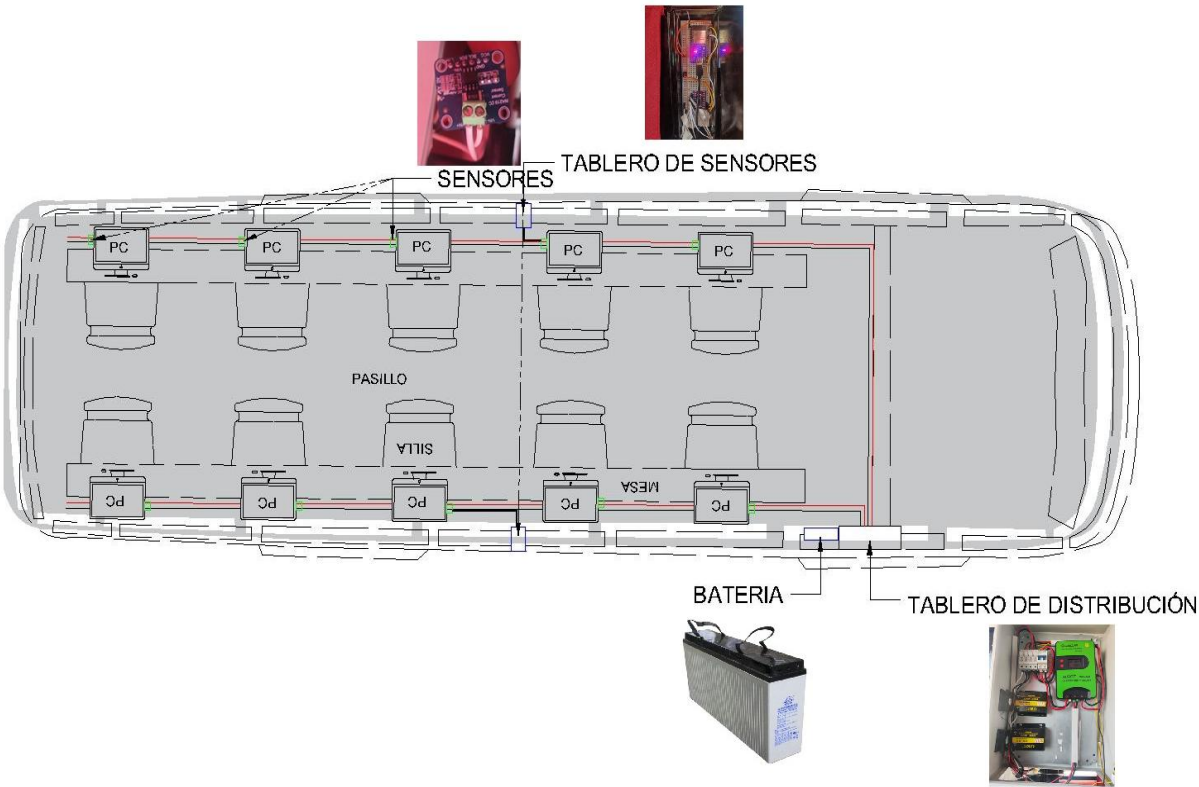


Nota. Elaboración Propia (2025).

En la Figura 50 se muestra la distribución completa del sistema eléctrico del microbús adaptado como biblioteca digital móvil. Se aprecia el recorrido del cableado que suministra energía a las diez computadoras ubicadas sobre mesas con sus respectivas sillas, así como la posición de los sensores, el tablero de monitoreo, la ubicación de la batería y el tablero de distribución (TD).

Figura 50

Diagrama unifilar de todo el conexionado.



Nota. Elaboración Propia (2025).

3.12 Presupuesto

El presupuesto total para la implementación del proyecto de biblioteca digital móvil se divide en tres áreas principales: ambientación del vehículo, sistema fotovoltaico, y sistema de biblioteca digital.

Tabla 2*Presupuesto.*

MATERIALES Y PRESUPUESTOS				
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
AMBIENTACION DEL VEHICULO				
Pintura blanca	Unidad	2	S/ 35.00	S/ 70.00
Pintura negra	Unidad	4	S/ 35.00	S/ 140.00
Pintura Azul	Unidad	1	S/ 85.00	S/ 85.00
Chapa	Unidad	1	S/ 80.00	S/ 80.00
Madera	Unidad	2	S/ 40.00	S/ 80.00
Thinner	Galones	6	S/ 20.00	S/ 120.00
Tela de tapizado	Metros	4	S/ 60.00	S/ 240.00
Cera	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
Barnis	Unidad	2	S/ 20.00	S/ 40.00
Silicona	Unidad	12	S/ 10.00	S/ 120.00
Papel kraft	Unidad	36	S/ 1.00	S/ 36.00
Cinta masking	Unidad	6	S/ 5.00	S/ 30.00
Cintas Scotch	Unidad	3	S/ 5.00	S/ 15.00
Cable de Datos universal	Unidad	1	S/ 20.00	S/ 20.00
Ventiladores	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
Bisagras	Unidad	2	S/ 5.00	S/ 10.00
Terokal	Unidad	9	S/ 25.00	S/ 225.00
Electrodo supersito	Unidad	36	S/ 3.00	S/ 108.00
Electrodo para inox	Unidad	12	S/ 2.00	S/ 24.00
Disco para fierro	Unidad	3	S/ 20.00	S/ 60.00
Broca para fierro	Unidad	4	S/ 10.00	S/ 40.00
Lijar	Unidad	14	S/ 5.00	S/ 70.00
Volandas	Unidad	120	S/ 0.20	S/ 24.00
Gebe	Metros	2	S/ 6.00	S/ 12.00
Pernos y tuercas	Unidad	60	S/ 2.00	S/ 120.00
Plancha metal para piso	m ²	2	S/ 120.00	S/ 240.00
plancha de metal para ventana	m ²	1.5	S/ 70.00	S/ 105.00
Alfombra	m ²	12	S/ 18.00	S/ 216.00
Cortinas	Unidad	9	S/ 90.00	S/ 810.00
Cordón para cortinas	Metros	12	S/ 1.00	S/ 12.00
Herramientas utilizadas	Unidad	1	S/ 1,000.00	S/ 1,000.00
SUB TOTAL				S/ 4,192.00

SISTEMA DE FOTOVOLTAICO				
Módulo Fotovoltaico	Unidad	1	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
Baterías	Unidad	1	S/ 1,100.00	S/ 1,100.00
Controlador MPPT	Unidad	1	S/ 850.00	S/ 850.00
Cables para panel Fot. (DC) 12 AWG	Metros	30	S/ 15.00	S/ 450.00
Terminal a compresión	Unidad	2	S/ 5.00	S/ 10.00
Terminales MC4	Unidad	2	S/ 15.00	S/ 30.00
Cable 18 AWG (DC)	Metros	200	S/ 0.50	S/ 100.00
Cables (CA) 12 AWG	Metros	10	S/ 3.00	S/ 30.00
Cables y conexiones (DC) 12 AWG	Metros	60	S/ 10.00	S/ 600.00
Cable 8 AWG	Metros	2	S/ 15.00	S/ 30.00
Cable para tierra	Metros	10	S/ 2.00	S/ 20.00
Cable de datos tipo C	Unidad	1	S/ 20.00	S/ 20.00
Convertidor DC/DC	Unidad	160	S/ 3.00	S/ 480.00
Terminales	Unidad	28	S/ 1.00	S/ 28.00
Termomagnético DC	Unidad	1	S/ 90.00	S/ 90.00
Porta fusibles	Unidad	4	S/ 30.00	S/ 120.00
Fusibles 40A	Unidad	4	S/ 15.00	S/ 60.00
Interruptor diferencial tipo b	Unidad	1	S/ 80.00	S/ 80.00
Tablero de conexiones IP66	Unidad	1	S/ 360.00	S/ 360.00
Iluminación LED	Unidad	1	S/ 30.00	S/ 30.00
SUB TOTAL				S/ 5,688.00
SISTEMA DE BIBLIOTECA DIGITAL				
Computadoras (1)	Unidad	10	-	-
Router	Unidad	1	S/ 220.00	S/ 220.00
Microbús (2)	Unidad	1	-	-
Estructura de montaje	Unidad	1	S/ 480.00	S/ 480.00
Multiplexor I2C (TCA9548A)	Unidad	2	S/ 8.00	S/ 16.00
Sensor de corriente INA - 226	Unidad	12	S/ 36.00	S/ 432.00
Microcontrolador ESP32	Unidad	4	S/ 50.00	S/ 200.00
Protooar	Unidad	2	S/ 20.00	S/ 40.00
Placa de expansión	Unidad	2	S/ 25.00	S/ 50.00
Canaletas	Unidad	8	S/ 55.00	S/ 440.00
Riel	Unidad	1	S/ 10.00	S/ 10.00
Sillas (3)	Unidad	10	-	-
SUB TOTAL				S/ 1,888.00
TOTAL				S/ 11,768.00

Nota. Elaboración Propia (2025).

(1), (2) y (3) Son equipos con valor de 0 S/. por el motivo que fueron donados para el tema de investigación, a la Universidad Nacional de Juliaca (estos equipos eran de un proyecto pasado).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados de la demanda energética

Tabla 3

Resumen de la demanda energética.

Elemento	Especificación	Justificación
Demanda energética diaria	1904 Wh/día	Basado en el consumo estimado de los dispositivos conectados al sistema.
Potencia del módulo fotovoltaico	550 W	Calculada para cubrir la demanda energética diaria de 1904 Wh, considerando un margen de eficiencia.
Batería	12V, 150 Ah	Necesaria para garantizar autonomía energética durante días nublados.
Controlador de carga	MPPT, 40 A	Asegura la carga eficiente de las baterías, soportando la corriente generada por los módulos fotovoltaicos y la batería.
Convertidores DC-DC	UKC 40 A (DC 24V-12V) y UKC 30 A (DC 24V-12V)	Garantizan que el voltaje de salida se mantenga constante a 12V, crucial para alimentar de manera segura las PCs y otros dispositivos electrónicos.
Sensores de monitoreo (INA219)	Medición de corriente y voltaje	Miden la corriente, el voltaje y la potencia consumida por cada dispositivo.
ESP32 (microcontrolador)	ESP32 con Wi-Fi y Bluetooth	Permite la transmisión en tiempo real de los datos de los sensores INA219 a Google Sheets.
Multiplexor I2C (TCA9548A)	TCA9548A	Permite conectar hasta 8 sensores INA219 al ESP32, evitando la saturación de los puertos I2C.

Nota. Elaboración Propia (2025).

4.1.1 Elección de los Equipos:

Módulo fotovoltaico de 550W (RenePV ZY550M10PH-144)

Justificación: Este módulo fotovoltaico fue seleccionado por su alta eficiencia y capacidad de generación de energía. Con una potencia nominal de 550W, es adecuado para cubrir la demanda energética de 1904 Wh/día, ya que el cálculo para dimensionar el módulo fotovoltaico mostró que se requiere al menos 476 W para generar suficiente energía. Además, el módulo fotovoltaico

monocristalino es ideal para las condiciones de irradiación solar promedio en la región (aproximadamente 5 horas de sol pico).

Controlador MPPT de 40A (Tracer Dream Series TD24107)

Justificación: El controlador de carga MPPT seleccionado debe manejar una corriente mínima de 39.59 A para garantizar que el sistema fotovoltaico funcione de manera segura, sin riesgos de sobrecarga. Esto se debe a los picos de corriente que pueden generarse durante el proceso de carga. El controlador MPPT de 40 A es adecuado para este sistema porque maneja de forma eficiente la corriente generada por el módulo fotovoltaico de 550 W y asegura que la batería de 150 Ah se cargue sin comprometer su seguridad ni su durabilidad.

Batería de 150Ah (Leoch FT12-150)

Justificación: Para garantizar la continuidad del funcionamiento del sistema durante la noche o en días nublados, es necesario contar con una batería que pueda almacenar la energía suficiente para cubrir la demanda energética sin depender exclusivamente de la radiación solar. En este caso, se calcula que se requieren 251.85 Ah de capacidad para almacenar el consumo de 1904 Wh/día en ausencia de generación solar. Sin embargo, dado que el módulo fotovoltaico de 550 W genera 2750 Wh/día, la batería solo debe cubrir las horas sin radiación solar. Considerando una profundidad de descarga del 70% (DoD) para optimizar la vida útil de la batería, se seleccionó una batería de 150 Ah (Leoch FT12-150).

Convertidores DC–DC UKC 40 A (DC 24V → 12V) y UKC 30 A (DC 24V → 12V)

Justificación: Estos convertidores fueron elegidos para estabilizar el voltaje de salida a 12 V, lo cual es crucial para alimentar de manera segura las PCs y otros dispositivos electrónicos del microbús. La redundancia de los convertidores permite balancear la carga entre ambos, evitando sobrecalentamientos y maximizando la vida útil del sistema, mientras que la distribución eficiente de la corriente reduce la caída de tensión y mejora la fiabilidad del sistema. Cumplen con la normativa del CNE–SuA (INACAL, 2020), asegurando su seguridad y fiabilidad.

Sensores de monitoreo INA219 (medición de corriente y voltaje)

Justificación: Los sensores INA219 fueron seleccionados por su capacidad para medir con precisión la corriente, el voltaje y la potencia consumida por cada dispositivo, lo que es crucial para realizar un monitoreo energético eficiente. Con una precisión del 1%, garantizan datos fiables que son procesados por el ESP32 y enviados a Google Sheets para análisis y visualización remota, permitiendo tomar decisiones informadas sobre el consumo energético del sistema.

ESP32 (microcontrolador con Wi-Fi y Bluetooth)

Justificación: El ESP32 fue seleccionado por su potente capacidad de procesamiento y conectividad integrada mediante Wi-Fi y Bluetooth, lo que permite la transmisión en tiempo real de los datos de los sensores INA219 a Google Sheets. Es compatible con múltiples sensores a través del bus I2C y tiene un bajo consumo energético, lo que lo hace ideal para sistemas autónomos. Además, su fácil programación y compatibilidad con el entorno de desarrollo Arduino permiten una integración rápida y eficiente del sistema de monitoreo.

Multiplexor I2C (TCA9548A)

Justificación: El multiplexor TCA9548A fue seleccionado para permitir la conexión de hasta 8 sensores INA219 al ESP32, superando la limitación de puertos I2C del microcontrolador. Facilita la expansión del sistema de monitoreo y reduce las interferencias entre dispositivos conectados al bus I2C, garantizando una comunicación eficiente.

Diseño de la estructura para el módulo fotovoltaico.

Justificación

Se adoptó a una inclinación de 20° para el módulo fotovoltaico porque en la región de Puno, debido a su elevada altitud (≈ 3800 msnm), la irradiancia solar es muy alta incluso a ángulos moderados. Estudios del altiplano (Cutipa & Vilca, 2020) muestran que la elevada radiación permite buen rendimiento con inclinaciones menores. Asimismo, investigaciones locales sobre ángulo fijo en Juliaca (Mamani, 2023) indican que inclinaciones entre 15° y 25° son adecuadas para maximizar la captación anual. La literatura internacional también sitúa el rango óptimo entre 15° y 30° para latitudes medias-altas (Rodrigues & Pereira, 2023). Por ello, 20° representa un punto intermedio técnicamente justificable.

4.2 Adaptación del sistema de sistema de alimentación de los equipos

4.2.1 Pruebas de funcionamiento en laboratorio

Antes de proceder con la instalación final en el microbús, se realizaron pruebas en laboratorio para verificar el funcionamiento de las 10 PCs alimentadas por el sistema fotovoltaico. Para estas pruebas, se utilizó una parte reducida del sistema de bombeo solar de 3 kW, que consistía en módulos fotovoltaicos de 50 W. Aunque el sistema completo estaba diseñado para ser más grande, se utilizaron 9 módulos para simular la operación en condiciones controladas.

En la Figura 51 se observa las conexiones de prueba con 9 módulo fotovoltaico de 50 W conectados a un controlador, fuses, DC-DC, batería, y alimentando las 10 PCs.

Figura 51

Prueba de funcionamiento de las 10 PCs alimentadas por 9 módulo fotovoltaico de 50 W del sistema de bombeo solar.



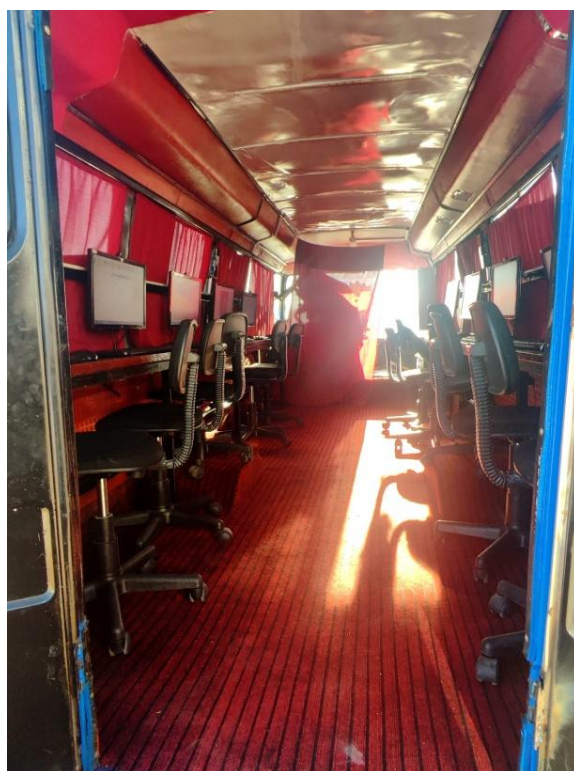
Nota. Elaboración Propia (2025).

4.3 Acondicionamiento y amoblamiento del interior del microbús

La Figura 52 muestra el amoblamiento finalizado en el interior del microbús, diseñado para optimizar el espacio y garantizar el confort y funcionalidad en el entorno educativo móvil. El interior fue acondicionado para albergar equipos electrónicos, como computadoras, y sistemas de energía solar, asegurando un flujo adecuado de trabajo. Los muebles fueron seleccionados y colocados estratégicamente para maximizar el uso eficiente del espacio disponible, permitiendo un fácil acceso a los dispositivos y una organización práctica para las actividades educativas.

Figura 52

Amoblamiento finalizado al interior del microbús.



Nota. Elaboración Propia (2025).

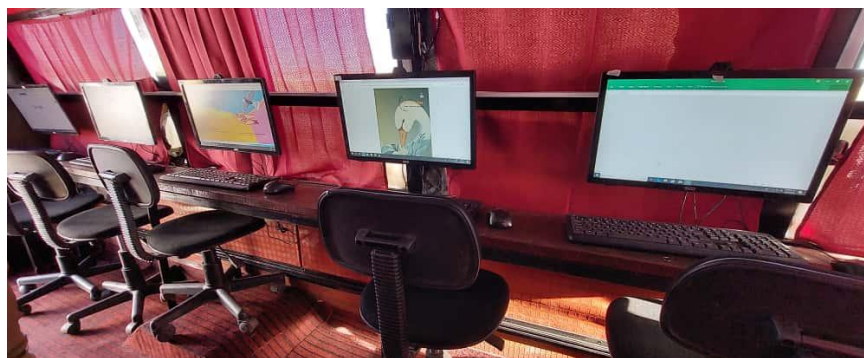
4.4 Instalación de equipos tecnológicos

Esta sección presenta las imágenes que documentan el proceso de instalación de las PCs y la conexión del cableado necesario para alimentar todo el sistema. La Figura 53 ilustra cómo se instalaron las 10 PCs dentro del microbús, distribuyéndolas en dos lados, con 5 unidades en

cada uno, garantizando así una distribución equitativa del espacio. Además, la Figura 54 muestra la instalación del sensor INA219, colocado en serie en el lado positivo de cada PC, lo que permite medir y monitorear el consumo eléctrico de cada unidad. Ambas figuras detallan cómo se integraron los diferentes dispositivos tecnológicos en su lugar definitivo.

Figura 53

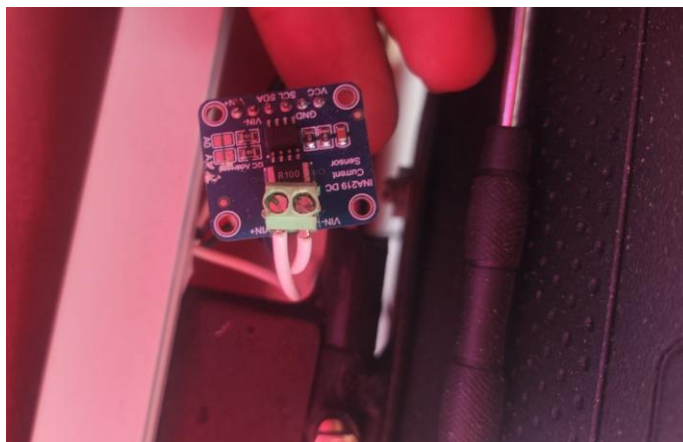
La instalación de las 10 PCs se realizó con 5 unidades en cada lado del interior del microbús, asegurando su distribución equitativa.



Nota. Elaboración Propia (2025).

Figura 54

El sensor INA219 está instalado en serie en el lado positivo de cada PC.

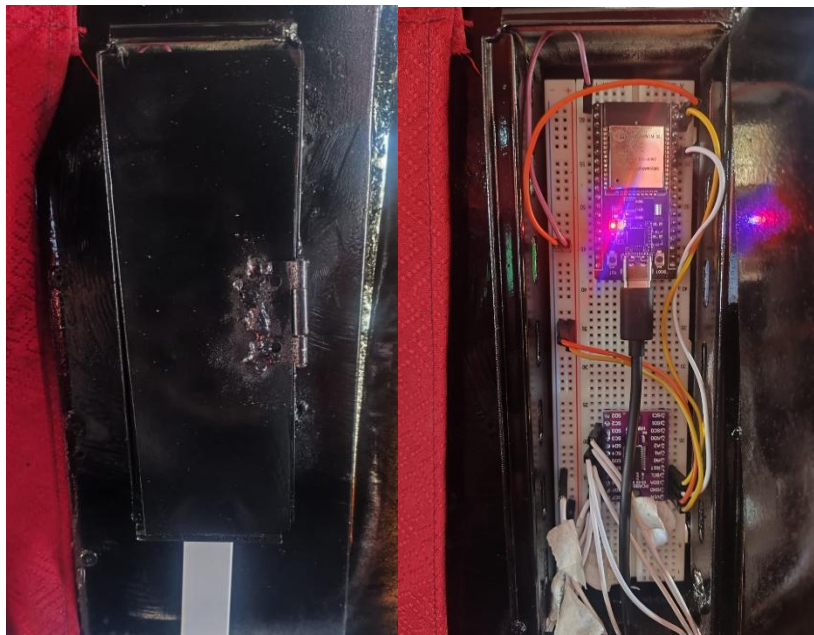


Nota. Elaboración Propia (2025).

En la Figura 55 se muestra el conexionado del sistema de recolección de datos o monitoreo, el cual ha sido implementado sobre una placa protoboard. En este montaje se observa el uso de un multiplexor I²C, dispositivo que permite ampliar la capacidad de los buses SDA y SCL del microcontrolador ESP32. Gracias a este multiplexor, es posible conectar múltiples sensores que comparten la misma dirección I²C sin generar conflictos en la comunicación. En este caso, se han conectado cinco sensores, siguiendo el esquema de conexiones mostrado previamente en la Figura 49. Cada sensor se comunica con el ESP32 a través de los canales del multiplexor, que se activan individualmente mediante la selección de la dirección correspondiente.

Figura 55

Conexión del sistema de monitoreo.



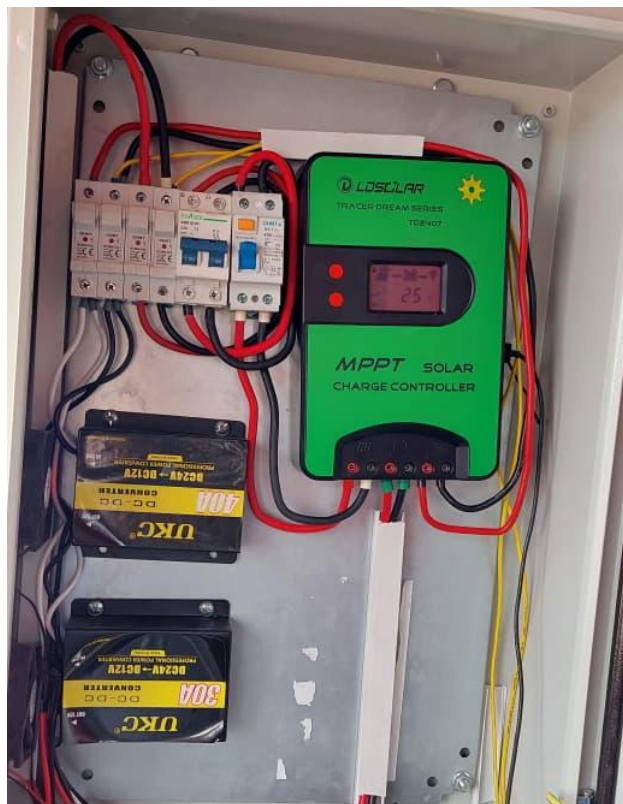
Nota. Elaboración Propia (2025).

El tablero de distribución reúne los equipos de protección y los dispositivos principales del sistema fotovoltaico del vehículo. Incluye fusibles termomagnéticos DC, un interruptor diferencial tipo B y la conexión a masa (chasis), necesaria para la seguridad eléctrica en instalaciones móviles. También contiene el controlador de carga, los convertidores DC-DC y ventiladores para su refrigeración. En las pruebas, el convertidor de 40 A presentó inestabilidad y se sobrecalentaba, por lo que se optó por emplear dos convertidores (40 A y 30 A),

distribuyendo la carga en 5 PCs por cada DC-DC para garantizar un funcionamiento estable y seguro.

Figura 56

Tablero de distribución eléctrica.



Nota. Elaboración Propia (2025).

4.5 Resultados del monitoreo de funcionamiento adecuado

4.5.1 Consumo promedio horario de corriente y potencia de las 10 PCs

Las mediciones se realizaron mediante sensores de corriente y voltaje INA219, configurados con una frecuencia de muestreo de un registro por minuto, durante el intervalo comprendido entre las 10:00 y las 15:00 horas del día 19 de septiembre de 2025.

Los datos obtenidos se agruparon en intervalos de una hora (60 registros), y para cada intervalo se calculó el promedio horario de corriente total (A) y potencia total (W) consumida por las diez computadoras:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

Donde:

- \bar{X} = valor promedio de corriente o potencia.
- X_i = valor medido en cada minuto.
- n = número total de mediciones en una hora (n = 60).

Tabla 4

Presenta los valores promedio obtenidos en cada intervalo horario.

Hora (aprox.)	Corriente Total (A)	Potencia Total (W)
10:00–11:00	16.40	160.66
11:00–12:00	16.28	159.80
12:00–13:00	16.24	157.11
13:00–14:00	16.38	160.73
14:00–15:00	16.31	158.10

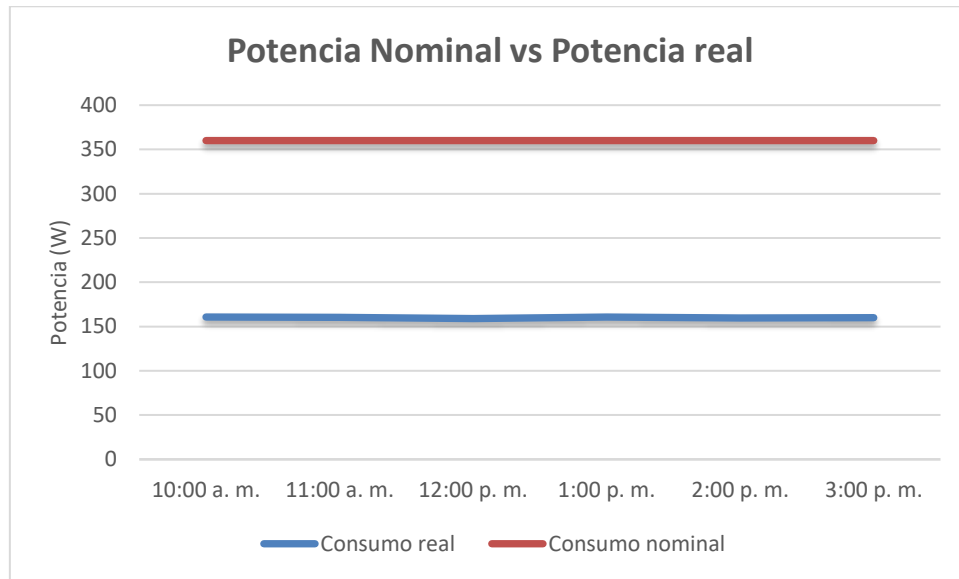
Nota. Elaboración Propia (2025).

La Figura 57 presenta la comparación entre la potencia nominal estimada para el conjunto de 10 PCs (360 W) y la potencia real medida por hora durante la jornada de monitoreo (10:00–15:00 h). Se observa que la curva correspondiente al consumo real se mantiene de forma estable alrededor de los 160 W, muy por debajo de la potencia nominal. Esta diferencia significativa evidencia que, en condiciones reales de uso, las computadoras no operan permanentemente en su máxima capacidad de consumo eléctrico, sino que presentan cargas dinámicas que reducen la demanda efectiva del sistema.

Este comportamiento valida el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que la demanda real se encuentra ampliamente cubierta por la capacidad instalada. Asimismo, la brecha entre lo nominal y lo real resalta la importancia de realizar mediciones de campo, pues los valores teóricos suelen sobreestimar la demanda y pueden conducir a sobredimensionamientos innecesarios en el diseño.

Figura 57

Potencia Nominal vs Potencia real.



Nota. Elaboración Propia (2025).

4.5.2 Consumo energético del sistema durante el periodo de monitoreo

Las mediciones de potencia se registraron con una frecuencia de un dato por minuto, y posteriormente se agruparon en intervalos de una hora, obteniéndose el promedio de potencia para cada intervalo. A partir de estos valores, se calculó la energía consumida por hora mediante la ecuación 11:

$$E_{hora} = P_{promedio-hora} \cdot \Delta t \quad (11)$$

Donde:

- E_{hora} : energía consumida en cada intervalo horario (Wh).
- $P_{promedio-hora}$: potencia promedio medida en el intervalo (W).
- Δt : duración del intervalo de tiempo (1 hora).

Finalmente, la energía total del periodo se obtuvo sumando las energías parciales de cada hora, según la ecuación 12:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n E_{hora_i} \quad (12)$$

La Tabla 5 presenta los resultados obtenidos, expresados en términos de potencia promedio y energía calculada por hora.

Tabla 5

Consumo energético promedio horario de las 10 PCs.

Intervalo horario	Potencia promedio total (W)	Energía del intervalo (Wh)	Energía acumulada (Wh)
10:00–11:00	160.66	160.66	160.66
11:00–12:00	159.80	159.80	320.46
12:00–13:00	157.11	157.11	477.57
13:00–14:00	160.73	160.73	638.30
14:00–15:00	158.10	158.10	796.40

Nota. Elaboración Propia (2025).

Energía total del periodo (10:00–15:00): 796.40 Wh = 0.796 kWh

Potencia promedio del periodo: 159.28 W ≈ 159.3 W de las PCs

4.5.3 Evolución temporal del consumo eléctrico en 10 PCs

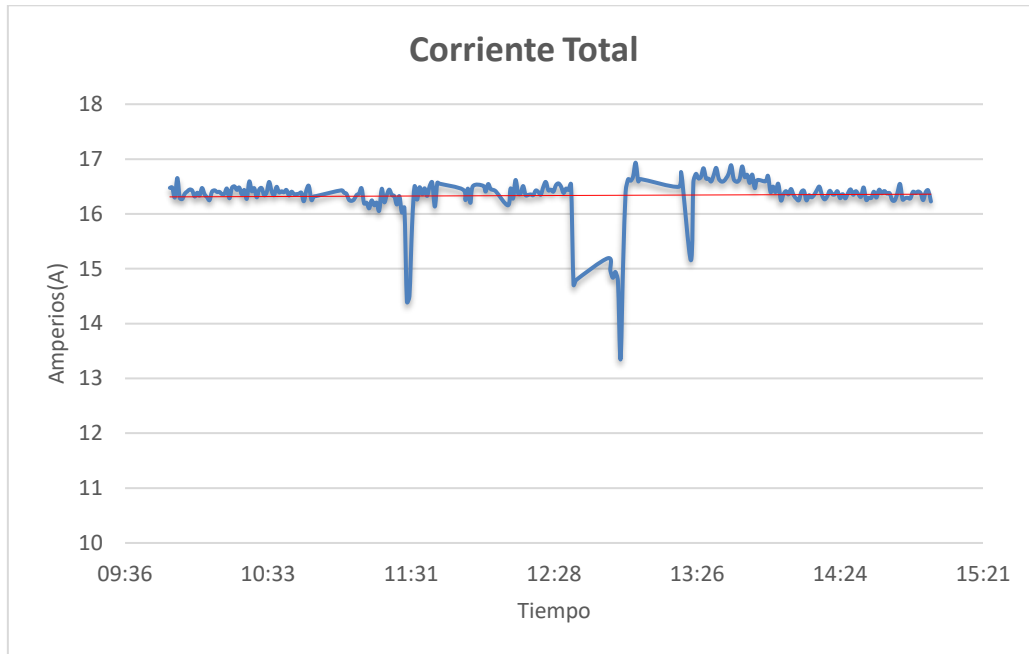
En la Figura 58 se presenta la evolución temporal de la corriente eléctrica medida cada minuto durante el periodo de monitoreo. El gráfico muestra la tendencia del consumo de las diez computadoras conectadas al sistema fotovoltaico, evidenciando un comportamiento estable a lo largo de las cinco horas de registro, con valores que se mantienen en torno a 16 amperios. Las ligeras variaciones observadas corresponden a fluctuaciones normales en la demanda instantánea de los equipos, asociadas a procesos de carga del sistema operativo, uso de periféricos o periodos de menor actividad.

De forma puntual, se identifican pequeñas discontinuidades o descensos breves en la señal, atribuibles a errores momentáneos en la adquisición de datos o interrupciones menores en la comunicación con los sensores, sin que ello afecte la representatividad general del registro. En

conjunto, los datos obtenidos confirman un consumo estable y coherente con el perfil esperado de equipos de bajo consumo alimentados por un sistema fotovoltaico autónomo.

Figura 58

Comportamiento de la corriente en función al tiempo.

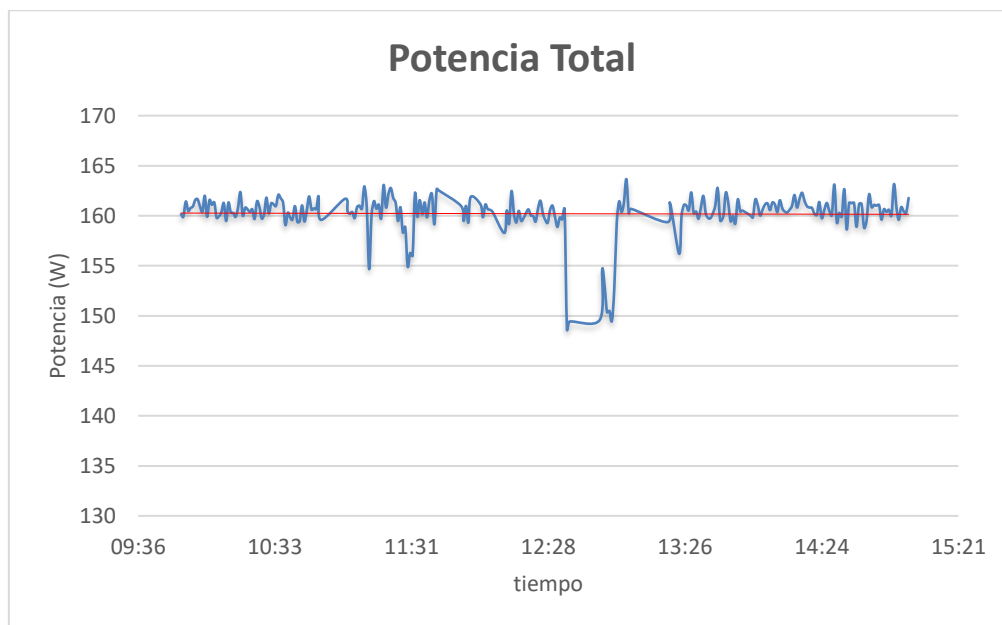


Nota. Elaboración Propia (2025).

De manera complementaria, la Figura 59 muestra la variación de la potencia total medida durante el mismo periodo de monitoreo, con valores promedio cercanos a 160 W. Se observa un comportamiento generalmente estable, con ligeros descensos en determinados intervalos, atribuibles a momentos de menor actividad de las computadoras o a la activación de modos de reposo. De forma aislada, se registran fluctuaciones puntuales o pérdidas mínimas de lectura, probablemente ocasionadas por interrupciones momentáneas en la adquisición de datos. No obstante, el conjunto de mediciones refleja un perfil de potencia uniforme y eficiente, coherente con el desempeño esperado del sistema fotovoltaico durante la operación continua de las diez PCs.

Figura 59

Comportamiento de la potencia en función al tiempo.



Nota. Elaboración Propia (2025).

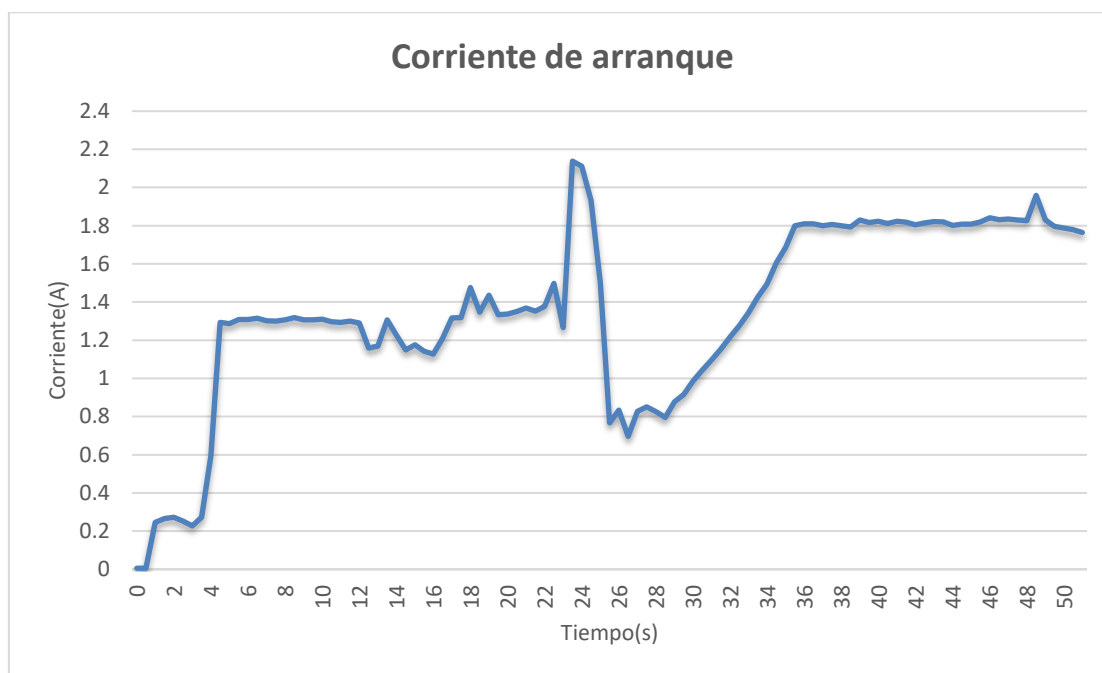
4.5.4 Corriente de arranque

La Figura 60 muestra el comportamiento de la corriente durante el arranque de uno de los dispositivos conectados al sistema fotovoltaico. Se aprecia un pico de corriente que alcanza aproximadamente 2.2 A, seguido de una rápida estabilización en torno a 1.8 A. Este comportamiento es característico en equipos electrónicos, donde al iniciar su funcionamiento se produce una corriente transitoria de arranque superior a la corriente nominal estable de operación.

De acuerdo con las especificaciones técnicas de los equipos, la corriente de arranque no supera los 3 amperios, por lo que el pico registrado se encuentra dentro de los márgenes normales esperados. En consecuencia, este fenómeno transitorio no compromete el dimensionamiento eléctrico del sistema fotovoltaico, ya que los componentes principales fusibles, conductores y disyuntores están diseñados para soportar corrientes superiores a dicho valor sin riesgo de sobrecarga o daño.

Figura 60

Corriente de arranque.



Nota. Elaboración Propia (2025).

4.6 Discusiones de los resultados

4.6.1 Demanda energética y dimensionamiento del sistema

Los resultados obtenidos en el presente proyecto muestran una correspondencia positiva con los antecedentes revisados, confirmando la viabilidad técnica y la eficiencia del uso de energía solar fotovoltaica en entornos educativos móviles. En concordancia con el estudio de Sánchez y Torres (2021), quienes desarrollaron un sistema fotovoltaico para un aula rural con una demanda de 1800 Wh/día, se comprobó que el dimensionamiento del sistema en este trabajo 1904 Wh/día garantiza un funcionamiento estable y continuo de los equipos, incluso bajo condiciones de irradiación variable.

4.6.2 Eficiencia y fiabilidad del controlador MPPT

Los resultados coinciden con los hallazgos de Huamán et al. (2020), donde el uso de controladores MPPT mejoró la eficiencia de carga en un 20 % respecto a controladores PWM;

en este caso, el controlador MPPT de 40 A permitió optimizar el rendimiento del sistema, manteniendo una eficiencia de conversión superior al 98 %.

4.6.3 Estabilidad en el Suministro Energético y el Uso de Convertidores DC-DC

La decisión de alimentar las PCs directamente en corriente continua (DC), sin uso de inversores, coincide con las conclusiones de Condori y Mamani (2022), quienes demostraron que los sistemas DC-DC reducen las pérdidas por conversión hasta en un 12 %, incrementando la autonomía del sistema fotovoltaico. En la presente investigación, esta estrategia permitió mantener un consumo promedio estable de 160 W, menor al valor nominal teórico de 360 W, validando la importancia del monitoreo real de carga para evitar sobredimensionamientos.

4.6.4 Monitoreo energético y análisis de datos reales

El monitoreo energético, los resultados obtenidos con el sistema basado en sensores INA219 y el microcontrolador ESP32 refuerzan los planteamientos de Rodríguez y Quispe (2023), quienes implementaron un sistema similar para laboratorios rurales, destacando la utilidad del registro en tiempo real y la transmisión de datos a plataformas en la nube para la gestión eficiente de energía. En ambos casos, se demuestra que el monitoreo permite identificar patrones de consumo y asegurar la operación del sistema dentro de los márgenes de seguridad eléctrica.

4.6.5 Estabilidad en el consumo de energía y comportamiento de las PCs

El consumo de las PCs se mantuvo estable, con pequeñas fluctuaciones asociadas a cambios en la carga de los equipos y a la pérdida de datos en algunos casos. Este comportamiento confirma que las computadoras no operan continuamente a su máxima capacidad, optimizando el uso de la energía generada por el sistema fotovoltaico.

4.6.6 Corriente de arranque y pico de consumo

La corriente de arranque observada alcanzó un pico de 2.2 A, pero nunca superó los 3 A, garantizando que el sistema puede manejar este pico sin afectar la seguridad del sistema. Este comportamiento es normal en equipos electrónicos y no afecta el rendimiento del sistema fotovoltaico.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La implementación de la biblioteca digital móvil alimentada por energía solar fotovoltaica permitió demostrar que es posible brindar acceso a recursos educativos digitales en comunidades rurales sin conexión a energía eléctrica. El sistema logró operar de manera autónoma, eficiente y sostenible, integrando tecnologías limpias, equipamiento informático y monitoreo energético en un solo entorno funcional.

La determinación de la demanda energética diaria de 1904 Wh/día para las 10 PCs y dispositivos electrónicos del sistema permitió dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico. Con la selección de un módulo fotovoltaico de 550 W, con inclinación de 20°, el sistema asegura la generación suficiente de energía para cubrir la demanda incluso en días nublados o con baja irradiación solar. Este dimensionamiento cubre ampliamente las necesidades energéticas y garantiza un funcionamiento eficiente del sistema fotovoltaico autónomo para alimentar la biblioteca digital móvil.

El sistema fue adaptado exitosamente para alimentar las PCs y otros dispositivos electrónicos directamente con corriente continua (DC), evitando el uso de inversores. A través de los convertidores DC-DC, se estabiliza el voltaje a 12 V, lo que asegura un funcionamiento seguro y eficiente de los dispositivos. Esta adaptación mejora la eficiencia energética al eliminar las pérdidas de conversión que se producirían si se utilizara un inversor, optimizando así el rendimiento del sistema fotovoltaico.

El acondicionamiento del interior del microbús fue realizado de manera efectiva, integrando adecuadamente los equipos tecnológicos, el sistema eléctrico y el sistema de monitoreo energético. El espacio fue dispuesto de manera que se maximiza el uso de los recursos disponibles y se proporciona comodidad a los usuarios. Además, el sistema de monitoreo, basado en los sensores INA219 y el microcontrolador ESP32, permite realizar un seguimiento continuo y preciso del consumo energético, facilitando la gestión eficiente de la energía y asegurando que el sistema fotovoltaico funcione dentro de los márgenes establecidos.

5.2 Recomendaciones

Una de las principales recomendaciones es ampliar la capacidad del sistema fotovoltaico mediante la instalación de un segundo modulo fotovoltaico y un banco de baterías adicional. Esta medida permitirá aumentar la autonomía energética del sistema, garantizando su funcionamiento continuo durante días nublados o de baja radiación solar, y asegurando una mayor disponibilidad para las actividades académicas programadas.

Asimismo, se recomienda implementar un sistema de respaldo o contingencia que permita mantener la operatividad del sistema en caso de fallas o mantenimiento. Este respaldo puede consistir en una batería auxiliar, la cual se activaría de manera automática o manual cuando el sistema principal quede fuera de servicio, evitando interrupciones en el acceso a la biblioteca digital móvil.

Otra acción prioritaria es la capacitación técnica del personal docente y operativo encargado del uso y mantenimiento del sistema. Esta formación debe enfocarse en el manejo del sistema fotovoltaico, monitoreo del consumo energético, mantenimiento preventivo de baterías y detección temprana de fallas. De esta manera, se asegurará la correcta gestión y sostenibilidad del sistema a largo plazo.

En relación con el contenido digital, se recomienda actualizar periódicamente los materiales educativos almacenados en el servidor local, adaptándolos al contexto cultural y lingüístico de los usuarios. Esta actualización garantizará que los recursos sean pertinentes, útiles y contribuyan efectivamente al proceso de aprendizaje.

Finalmente, se propone implementar un sistema de monitoreo y evaluación continua, que registre indicadores de consumo energético, frecuencia de uso y resultados académicos asociados al proyecto. Además, se implementará un sistema de control en el tablero de distribución para encender o apagar todo el sistema de manera más fácil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia Andina. (2024). Proyecto de electrificación rural con energía solar favorecerá a más de 55,000 hogares. <https://andina.pe/agencia/noticia-proyecto-electrificacion-rural-energia-solar-favorecera-a-mas-55000-hogares-1034260.aspx>
- Pulido, C., & Ledesma, E. (2021). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para generar electricidad*. Universidad Tecnológica del Perú. Tesis. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/7063>
- UGEL San Román. (2021). *Informe de biblioteca itinerante rural*. Dirección Regional de Educación de Puno.
- AIE. (2021). *Agencia Internacional de Energía, Renewable energy for rural development*. Agencia Internacional de Energía.
- Almeida, R., & Santos, C. (2021). Biblio-Solar: Digital Library in the Brazilian Amazon. *International Journal of Education and Technology*, 9(1), 21-34.
- AutoSolar. (2025). Recuperado el 27 de Agosto de 2025, de Energía Solar. <https://autosolar.co/portafusibles?srsltid=AfmBOorBAFrr0y604joRcRN7I6SMtE5cUyYbGKKjfqwnQ--xy6nIYc97>
- Banerjee, A., & Duflo, E. (2019). *Good Economics for Hard Times*. PublicAffairs.
- Casa lima. (2025). Recuperado el 27 de Agosto de 2025, de <https://grupocasalima.com/producto/interruptor-termomagnetico-ik60-2x20a/>
- CEPAL. (2022). Transformación digital para una educación inclusiva y sostenible en América Latina y el Caribe. (N. Unidas, Ed.) *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
- CNE. (2020). *Código Nacional de Electricidad – Suministro de Energía Eléctrica*. INACAL, Lima. Instituto Nacional de Calidad.
- CNE-TOMO V. (2006). *Código Nacional de Electricidad-TOMO V-Sistema de Utilización*. Dirección General de Electricidad. Ministerio de Energía y Minas.

- CNE-U. (2006). *Ministerio de Energía y Minas – Utilización (CNE-U). Resolución Ministerial N.º 010-2006-EM*. Código Nacional de Electricidad.
- Cobaes Geo.* (30 de Noviembre de 2011). <https://cobaesgeo.foroactivo.com/t1409-las-estrellas-el-sol>
- Congreso de la República del Perú. (2000). Ley N.º 27345 – Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía. *Diario Oficial El Peruano*.
- Consejo Nacional de Educación. (2021). *Proyecto Educativo Nacional al 2036: El reto de la ciudadanía plena*. Lima. MINEDU.
- CUNA Más. (2023). *Iniciativa de inclusión tecnológica con kits solares portátiles en Azángaro*.
- Cutipa, R., & Vilca, M. (2020). *Ocurrencias de irradiancia solar extrema a 3812 m.s.n.m. a nivel del Lago Titicaca (Puno–Perú)*. LACCEI 2020.
- DRE Lima Metropolitana. (2022). *Informe de implementación de aulas digitales móviles*. Lima Norte.
- DRE Puno. (2021). *Programa “Mi Aula en Casa” en zonas rurales durante la pandemia COVID-19*. Aprendo en Casa.
- DRE Puno. (2023). *Proyecto “Escuelas Solares” en la región Puno*.
- EATON. (2025). <https://www.eaton.com/ar/es-mx/catalog/electrical-circuit-protection/bussmann-low-voltage-iec-cylindrical-fuses.html>
- Enerjet. (2025). Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de <https://www.enerjet.com.pe/>
- Enertik. (2025). Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de Enertik. <https://enertik.com/cl/categoria/fotovoltaica/reguladores-solares/>
- Europe, S. (2023). *Global Market Outlook for Solar Power 2023–2027*. Brussels.
- Ferina, L. (2020). Corriente Continua. 5. <https://doi.org/www.ingenierofarina.com.ar>

- Fraile, D. (2014). *Energía solar fotovoltaica: Guía para el diseño de sistemas aislados*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid.
- Fraunhofer ISE. (2019). *Monitoring and data acquisition in PV systems*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
- Gómez, J., & Rodríguez, F. (2022). Soluciones educativas móviles en comunidades marginadas de Oaxaca. *Revista de Educación Rural y Tecnológica*, 6(4), 15-25.
- Gonzales, R., & Pacheco, M. (2021). Implementación de sistemas solares fotovoltaicos en corriente continua en ambientes rurales educativos. *Revista de Ingeniería Energética del Perú*, 32(2), págs. 44–58.
- Goyal, K. (2024). *Software de gestión de libros electrónicos. Calibre E-book Management*. . Calibre. <https://calibre-ebook.com>
- HelioEsfera. (2020). HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>
- IEC. (2016). Low-voltage fuses – Part 1: General requirements (IEC 60269-1:2016). International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch>
- IEC. (2018). *Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs)* . IEC 61008-1, General rules. International Electrotechnical Commission.
- IEC, G. (2019). *International Electrotechnical Commission IEC 62509: Battery charge controllers for photovoltaic systems*. Performance and functioning.
- Importadora Jordan. (2025). <https://www.jordanperu.com/product/int-temomagnetico-con-protecc-diferencial-nb11-2x16a-30ma-10ka-chint/?srsltid=AfmBOooUuXPIrHZKuXaSs1I6RGeoMeT0-nXBICwgMkqPTVn5-bTTXkoS>
- INACAL. (2020). Instituto Nacional de Calidad NTP 399.010:2020. <https://www.inacal.gob.pe>

- INEI. (2022). (I. N. Perú, Editor) Informe Técnico: Estadísticas de las Tecnologías de la Información y Comunicación en los Hogares . <https://www.inei.gob.pe>
- Infobae. (18 de Diciembre de 2024). *Peruano crea biblioteca virtual que funciona sin internet y su sistema se alimenta de energía solar.*
- INSST. (2025). Puestos de trabajo con pantallas de visualización. *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.*
- Ir Elecytronics.* (2025). Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de <https://irelectronics.pe/producto/convertidor-de-voltaje-de-24vdc-a-12vdc-20a-opalux-op-vc20a/>
- Leocadio, J. (2012). *Energía solar fotovoltaica: diseño de sistemas autónomos.* Académica Española.
- Lorenzo, E. (2014). *Electricidad solar fotovoltaica.* Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Progensa.
- LosAndes. (2024). *Solo el 21.2% de los colegios de Puno tiene acceso a agua, luz y desagüe.* Recuperado el 15 de 08 de 2025, de <https://losandes.com.pe/solo-el-21-2-de-los-colegios-de-puno-tiene-acceso-a-agua-luz-y-desague/>
- Mamani, V. (2023). *Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study.* Revista de la Facultad de Ingeniería de la UNAJ.
- Mercado libre.* (2025). <https://www.mercadolibre.com.pe/reductor-de-voltaje-dc-24v-a-12v-40a-ddc-40a-ukc-mihaba/p/MPE45260055>
- Mhlongo, T., & Sibanda, F. (2020). ConnectEd: Bringing Education to Remote Communities in South Africa. *Journal of Digital Learning and Development*, 15(2), 68-81.
- Minedu & GIZ. (2023). *Proyecto Escuelas Sol: Aulas digitales solares para comunidades rurales del Perú.* documento gubernamental, Ministerio de Educación del Perú & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

- MINEDU. (2022). *Lineamientos para el uso de tecnologías en la educación rural, Norma Técnica del Mobiliario Educativo*. Ministerio de Educación. <https://www.minedu.gob.pe>
- Minedu. (2022). *Norma Técnica: Criterios para el Diseño del Mobiliario Educativo de la Educación Básica Regular*. MINEDU, Lima. Perú: Ministerio de Educación.
- MINEDU. (2023). *Informe sobre brechas de infraestructura educativa en el Perú*. Ministerio de Educación, Lima. Ministerio de Educación [MINEDU].
- MINEM. (2006). *Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U)*. Resolución Ministerial N.º 010-2006-EM. Ministerio de Energía y Minas. Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U)*. Resolución Ministerial N.º 010-2006-EM.
- MINEM. (2007). *Código Nacional de Electricidad – Suministro Autónomo (CNE-SuA)*. R.M. N.º 405-2007-MEM/DM. Ministerio de Energía y Minas . <https://www.minem.gob.pe>
- MINEM. (2022). *Código Nacional de Electricidad Dirección General de Electricidad. Suministro de Energía Fotovoltaica (CNE-SEF)*.
- MINEM. (2022). *Ministerio de Energía y Minas*. Plan Nacional de Electrificación Rural 2022–2027. <https://www.gob.pe/minem>
- MINEM. (2023). *Ministerio de Energía y Minas (MINEM) Programa Nacional de Electrificación Fotovoltaica para Zonas No Conectadas a Red*.
- Ministerio de Cultura. (2023). *Educación digital para comunidades indígenas con energía solar*. Ñanqanchik.
- Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U)*. Resolución Ministerial N.º 010-2006-EM.
- MVCS. (2006). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*.

- Naylamp mechatronics. (2025). Recuperado el 8 de 11 de 2025, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/559-monitor-de-corriente-voltaje-high-side.html>
- Ngugi, J. (2020). Solar Computer Classrooms for Rural Kenya . *African Educational Innovations Journal*, 12(3), 45–57.
- Otovo. (2022). *Otovo*. Recuperado el 07 de 03 de 2024, de <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>
- Pareja, A. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo.
- Perpiñan, O. (2023). *Energía Solar Fotovoltaica*. Libre acceso.
- Planas, O. (17 de Marzo de 2016). *Solar-Energía.net*. (o. e. Ubicación, Productor) <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/ubicacion-de-los-paneles-solares>
- Powerack. (2023). *Materiales y selección de estanterías solares fotovoltaicas*. Powerack blog.
- Rezk, H., Fathy , A., & Dhaifallah, M. (2023). IoT-based monitoring and performance evaluation of standalone PV systems in rural areas. *Renewable Energy*, 209, 995–1006. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.056>
- Rodrigues, M., & Pereira, A. (2023). *Optimal tilt angle of photovoltaic panels: A case study in Rio de Janeiro*. Environmental Management and Sustainable Development.
- Schneider Electric. (2018). *Manual técnico de protecciones eléctricas de baja tensión*. Schneider Electric.
- SFE-Solar. (2024). *SUN-FIELDS*. Recuperado el 07 de 03 de 2024, de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>
- SolarFarm, & Andrés, M. (11 de Junio de 2020). *SolarFarm*. Recuperado el 08 de 03 de 2024, de <https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>

- SolarSPELL. (2021). *Empowering education through solar*. Arizona State University Press.
- SOLTEC. (2020). *Energías Renovables: El periodismo de las energías limpias*. Recuperado el 27 de 02 de 2024, de <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/por-que-la-tecnologia-perc-se-20180306>
- Tableros electricos*. (2021). Venta de productos para la industria eléctrica e instalación eléctrica. <https://tableroselectricos.com.pe/producto/tablero-electrico-adosado-500x400x200mm/>
- Tamayo, 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.
- Tecnosolab, & Iturbe, C. (2021). *Diseño y estimación de la productividad de 46 sistemas de riego fotovoltaico*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/77622/1/PFG_ITURBE_COBOS_CARLOS.pdf
- Telefónica, F. (2022). *Conectados con la Educación: Plataforma educativa solar en la Sierra Central del Perú*. Fundación Telefónica. Conectados con la Educación.
- Ubuy. (2025). Recuperado el 27 de Agosto de 2025, de <https://www.ubuy.pe/sp/product/2BRW9L3S-universal-solar-panel-mounts-arm-pole-brackets-set-for-solar-panels-from-30w-to-60w>
- UNESCO. (2020). *Mobile Learning Bus – Cambodia Initiative*. UNESCO. Retrieved from . <https://unesdoc.unesco.org>
- Universo abierto*. (20 de 08 de 2025). <https://universoabierto.org/2018/09/19/lecturas-en-movimiento-pautas-ifla-sobre-bibliotecas-moviles/>
- westor*. (2025). <https://westor.pe/reductor-de-voltaje-dc-24v-a-12v-40a-ddc-40a-ukc/>
- Zblewski, C., Sander, M., & Hoffmann, D. (2021). *SolarSPELL: Empowering education through solar-powered digital libraries*. Arizona State University Press.

ANEXOS

Anexos I *Tabla para dimensionamiento óptimo de conductores en DC*

Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil			TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			
		TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW		TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 ^{**}	—	—	14	—	—	—
1.31	16 ^{**}	—	—	18	—	—	—
2.08	14 ^{**}	15	20	25	—	—	—
3.31	12 ^{**}	20	25	30	—	—	—
5.26	10 ^{**}	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

Anexos II Intensidad máxima admisible en cables eléctricos para conexionado de placas o módulos fotovoltaicos

Sección	Tipo de instalación		
	Al aire 60 °C	Sobre superficie	Adyacente a superficies
mm ²	A	A	A
1,5	30	29	24
2,5	41	39	33
4	55	52	44
6	70	67	57
10	98	93	79
16	132	125	107
25	176	167	142
35	218	207	176

Conductor: Cu.
Temperatura del terreno: 25°C.
Profundidad de los cables: 0,70 m.

Anexos III Datasheet del interruptor diferencial

Interruptores diferenciales | Aparatura modular para carril DIN (P-032)



NL210 Interruptor diferencial Tipo B

A

1. General

1.1 Función

Controlar los circuitos eléctricos.
Proteger a las personas frente a los contactos indirectos y ofrecer protección adicional frente a contactos directos.
Proteger las instalaciones contra el riesgo de incendio por fallos de aislamiento.
Los interruptores automáticos de corriente residual se emplean en viviendas, así como en el sector terciario y la industria.

1.2 Selección

Forma de onda detectable

Tipo B

El disparo está garantizado para corrientes residuales CA sinusoidales, corrientes residuales CC pulsatorias, corrientes alternas residuales sinusoidales de hasta 1000Hz, corrientes continuas residuales pulsatorias y para corrientes continuas residuales suaves, tanto si se aplican de manera repentina como si van aumentando lentamente.

Sensibilidad de disparo

30mA - protección adicional contra contactos directos.
100mA - coordinado con el sistema de puesta a tierra de acuerdo con la fórmula $I\Delta n < 50/R$, para ofrecer protección contra contactos indirectos;
300mA - protección contra contactos indirectos, así como contra el riesgo de incendio.

Tiempo de disparo

Instantáneo

Garantiza un disparo instantáneo (sin retardos).


1.3 Autorizaciones y Certificados

CE, KEMA

1.4 Accesorios

AX-5 contactos auxiliares
TC-1 tapa de terminal

2. Datos técnicos

	Estándar		IEC/EN 62423 & IEC/EN 61008-1
Características eléctricas	Tipo (forma de onda de derivación a tierra detectada)		B
	Corriente nominal I_n	A	25, 40, 63
	Polos		1P+N, 3P+N
	Tensión nominal U_e	V	1P+N:230/240V~; 3P+N:400/415V~;
	Sensibilidad nominal $I_{\Delta n}$	A	0.03, 0.1, 0.3
	Tensión de aislamiento U_i	V	500
	Poder nominal residual de conexión y corte $I_{\Delta m}$	A	500 ($I_n=25A/40A$) 630 ($I_n=63A$)
	Corriente de cortocircuito $I_{nc}=I_{\Delta c}$	A	10000
	Fusible SCPD (dispositivo de protección contra cortocircuitos)	A	 10000
	tiempo de corte inferior $I_{\Delta n}$	s	≤0.1
	Frecuencia nominal	Hz	50
	Tensión nominal soportada al impulso (1.2/50) U_{imp}	V	4000
Tensión de prueba dieléctrica a la frec. ind. durante 1 minuto	kV	2	
Grado de contaminación		2	
Características mecánicas	Vida eléctrica		2000
	Vida mecánica		10000
	Indicador de corriente de pérdida		Si
	Grado de protección		IP20
	Temperatura ambiente (con una media diaria ≤35°C)	°C	-25...+40
Temperatura de almacenamiento	°C	-25...+70	
Instalación	Tipos de terminales de conexión		Cable, Horquilla o Pin
	Tamaño de terminal de arriba a abajo para cable	mm ²	25/35
		AWG	18-3/18-2
	Tamaño de terminal de arriba a abajo para peine de conexión	mm ²	10/16
		AWG	18-8/18-5
	Par de apriete	N·m	2.5
		In-lbs.	22
Montaje		En riel DIN EN 60715 (35mm) a través de un dispositivo de enganche rápido	
Conexión		Entrada superior e inferior indistintamente	

Anexos IV Iluminación de interiores para edificios educacionales norma EM 010

AMBIENTES	ILUMINANCIA EN SERVICIO (lux)	CALIDAD
Industrias de cuero		
Áreas de trabajo en general		
Prensado, curtiembre, costura	300	B – C
Producción de calzados	750	A – B
Control de calidad	1000	A – B
Trabajos de maquinado (forjado – torno)		
Forjado de pequeñas piezas	200	D – E
Maquinado en tornillo de banco	400	B – C
Maquinado simple en torno	750	A – B
Maquinado fino en torno e inspección de pequeñas partes	1500	A – B
Talleres de pintado		
Preparación de superficies	500	C – D
Pintado general	750	B – C
Pintado fino, acabados, control	1000	A – B
Fábricas de papel		
Procesos automáticos	200	D – E
Elaboración semi automática	300	C – D
Inspección	500	A – B
Imprentas – Construcción de libros		
Salas de impresión a máquina	500	C – D
Encuadernado	500	A – B
Composición, edición, etc.	750	A – B
Retoques	1000	A – B
Reproducciones e impresiones a color	1500	A – B
Grabados en acero y cobre	2000	A – B
Industrias textiles		
Área de desembalaje	200	D – E
Diseño	300	D – E
Hilados. cardados, teñidos	500	C – D
Hilados finos, entrelazados	750	A – B
Cosido, inspección	1000	A – B
Industrias en madera		
Aserradero	200	D – E
Ensamble en tornillo de banco	300	C – D
Trabajo con máquinas	500	B – C
Acabados	750	A – B
Inspección control calidad	1000	A – B
Oficinas		
Archivos	200	C – D
Salas de conferencia	300	A – B
Oficinas generales y salas de cómputo	500	A – B
Oficinas con trabajo intenso	750	A – B
Salas de diseño	1000	A – B
Centros de enseñanza		
Salas de lectura	300	A – B
Salones de clase, laboratorios, talleres, gimnasios	500	A – B

CALIDAD DE LA ILUMINACIÓN POR TIPO DE TAREA VISUAL O ACTIVIDAD

CALIDAD	TIPO DE TAREA VISUAL O ACTIVIDAD
A	Tareas visuales muy exactas
B	Tareas visuales con alta exigencia. Tareas visuales de exigencia normal y de alta concentración
C	Tareas visuales de exigencia y grado de concentración normales; y con un cierto grado de movilidad del trabajador.
D	Tareas visuales de bajo grado de exigencia y concentración, con trabajadores moviéndose frecuentemente dentro de un área específica.
E	Tareas de baja demanda visual, con trabajadores moviéndose sin restricción de área.

Anexos V Ficha técnica del módulo fotovoltaico

ZY550M10PH-144 Mono-crystalline Solar PV Modules

550
Watts

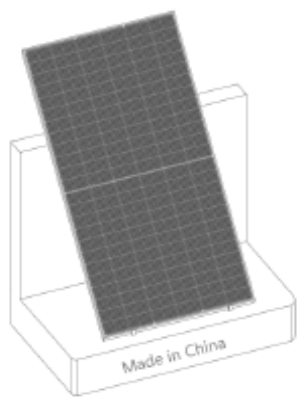
Efficient photovoltaic modules

12
years

product warranty

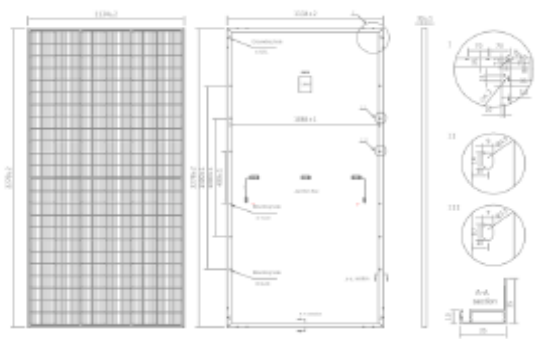
25
years

Limited power warranty of 84% of the minimum specified power rating



Dimensions of PV Module(mm):

Dimensions:	2278*1134*35mm
Weight:	28.0 kg(±3%)



Electrical specifications:

Module Type:	ZY550M10PH-144	
Nominal Peak Power:(Pmax)STC/NMOT±3%(W):	550	410.6
Max.Power Voltage:(Vmp)STC/NMOT	(V): 40.83	38.2
Max.Power Current:(Imp)STC/NMOT	(A): 13.48	10.80
Open-circuit Voltage:(Voc)STC/NMOT±3%	(V): 49.60	45.7
Short-circuit Current:(Isc)STC/NMOT ±3%	(A): 14.04	11.80
Module Efficiency:(η m)	(%):	21.3
Power Selection	(W):	0~+5
Operating Temperature:	(°C):	-40~+85
Max. Series Fuse Rating:	(A):	25
Max. System voltage:(DC)	(V):	1500

STC: irradiance 1000 W/m²; module temperature 25°C; AM1.5;
NMOT: irradiance 800 W/m²; module temperature 20°C; AM 1.5; wind speed 1 m/s.

Mechanical Specifications

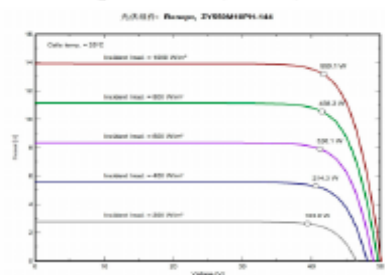
Solar Cell:	P-Mono-182*91
Arrangement:	Type-6*12*2
Front Glass:	3.2mm tempered glass
Frame:	Anodized aluminium alloy
Junction Box:	IP68,3 diodes
Cables& Connectors:	4.0mm ² &PV-CXLH0601
Manufacturer of connector&Junction Box	Ningbo Uhai photovoltaic Technology Co., Ltd
Maximum Load Capacity	5400Pa/2400Pa
Safety Rate	Class II (IEC)
Fire Rate	Class C (TUV)

Temperature characteristics

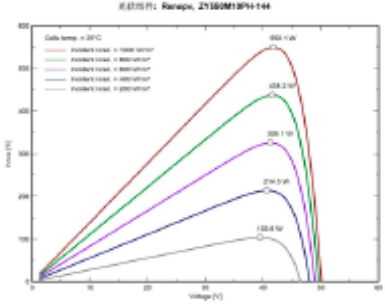
Temperature Coefficient (Pmax):	-0.35 %/°C
Temperature Coefficient (Voc):	-0.30 %/°C
Temperature Coefficient (Isc):	+0.046 %/°C
Nominal Operating Cell Temperature:	44±2 °C

Electrical characteristics:

Current-Voltage Characteristic(I-V Curve)



Power-Voltage Characteristic(P-V Curve)



Packing Configuration

40'HQ Container:	31pcs/pallet	20pallet/40'HQ	620pcs
------------------	--------------	----------------	--------

TUV/IEC61215/61730 Quality / ISO Certified Company



@NINGBO ZHONGYE NEW ENERGY CO., LTD.
Address : No.509 Zhongtong North Road,CixiCity hi-tech Industrial development zone,Zhejiang,China
Tell: +86-0574-63097968 Fax: +86-0574-63097968 Email: info@renepv.com

<https://www.renepv.com>

Anexos VI Ficha técnica del convertidor DC-DC 30A



MIHABA.COM
Jr. Pascual Saco Oliveros 873 Urb. Santa Catalina La Victoria Lima | 996 500 019 |
contacto@mihaba.com



Reductor de Voltaje DC 24V a 12V 30A DDC-30A UKC

Descripción

ESPECIFICACIONES

MODELO	DDC-30A
MARCA	UKC
TIPO	Reductor de Voltaje
VOLTAJE DE ENTRADA	24VDC
VOLTAJE DE SALIDA	12VDC
SALIDA DE CORRIENTE	30A
POTENCIA NOMINAL	720 W
CORRIENTE DE TRABAJO ESTÁTICA	< 50ma
TEMP. MÁXIMA DE OPERACIÓN	80°C
MEDIDAS DEL EMPAQUE	Largo: 24,0 cm Ancho: 7,0 cm Alto: 15,0 cm
PESO	285 gramos

mihaba.com



Reductor de Voltaje DC 24V a 12V 40A DDC-40A UKC

Descripción

ESPECIFICACIONES

MODELO	DDC-40A
MARCA	UKC
TIPO	Reductor de Voltaje
VOLTAJE DE ENTRADA	24VDC
VOLTAJE DE SALIDA	12VDC
SALIDA DE CORRIENTE	40A
POTENCIA NOMINAL	960 W
CORRIENTE DE TRABAJO ESTÁTICA	< 50ma
TEMP. MÁXIMA DE OPERACIÓN	80°C
MEDIDAS DEL EMPAQUE	Largo: 24,0 cm Ancho: 7,0 cm Alto: 15,0 cm
PESO	285 gramos

mihaba.com

Anexos VIII Ficha técnica de la batería

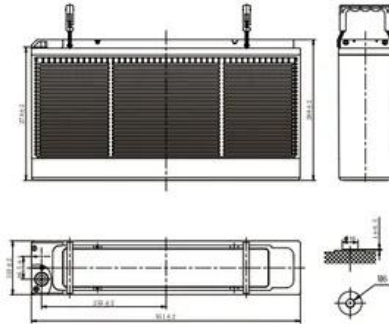


规格 Specifications

额定电压 Rated Voltage	12V		
标称容量 Nominal Capacity(C ₂₀ , 1.80V/cell)	150Ah		
尺寸 Dimension	长 Length	551±2mm (21.7 inches)	
	宽 Width	110±2mm (4.33 inches)	
	高 Container Height	288±2mm (11.3 inches)	
	总高(含端子) Total Height	288±2mm (11.3 inches)	
重量 Approx Weight	44.2kg (97.4 lbs)		
端子 Terminal	M6		
外壳材料 Container Material	ABS		
额定容量 Rated Capacity(25°C)	159.0Ah	C20(7.95A, 1.80V/cell)	
	150.0Ah	C10(15.0A, 1.80V/cell)	
	131.5Ah	C5(26.3A, 1.75V/cell)	
	119.4Ah	C3(39.8A, 1.75V/cell)	
	100.7Ah	C1(100.7A, 1.60V/cell)	
5S最大放电电流 Max. Discharge Current	1500A(5s)		
内阻 Internal Resistance(25°C)	Approx 4.3mΩ		
运行温度 Operating Temp. Range	放电 Discharge	-15 ~ 50°C (5 ~ 122°F)	
	充电 Charge	-20 ~ 40°C (-4 ~ 104°F)	
	存储 Storage	-15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)	
推荐温度 Nominal Operating Temp. Range	25±5°C (77±5°F)		
最大充电电流 Max. Charging Current(25°C)	45A		
充电电压 Charge voltage(25°C)	浮充 Float	充电电压 Charge voltage 2.25±0.02V/cell	温度补偿 Temp. Coefficient -3mV/单格/°C
	均充 Equalization	2.35-2.40V/cell	-4mV/单格/°C
	循环 Cycle	2.45±0.05V/cell	-5mV/单格/°C
	40°C (104°F)		106%
温度对容量影响 Effect of temp. to Capacity	25°C (77°F)		100%
	0°C (32°F)		86%
自放电 Self Discharge	≤3%/月 @ 25°C		



外形 Layout



恒流放电表(A)25°C Constant Current Discharge

F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	312.2	233.0	194.1	163.1	125.4	93.6	79.0	59.3	47.4	35.8	28.5	23.8	20.7	16.8	14.1	7.53
1.80V/cell	363.9	274.8	225.7	188.0	141.7	104.6	87.5	64.9	51.6	38.7	30.7	25.7	22.2	18.0	15.0	7.95
1.75V/cell	397.1	294.7	238.8	197.2	148.1	108.9	90.7	67.0	53.2	39.8	31.5	26.3	22.7	18.3	15.2	8.05
1.70V/cell	430.1	314.3	252.4	207.5	154.7	113.0	94.0	69.3	54.9	40.9	32.3	26.8	23.1	18.7	15.5	8.15
1.67V/cell	449.1	325.8	260.3	213.4	158.6	115.5	96.0	70.6	55.8	41.5	32.7	27.2	23.4	18.8	15.6	8.21
1.60V/cell	495.0	352.5	279.0	227.3	167.6	121.5	100.7	73.7	58.1	43.1	33.8	28.0	24.1	19.3	15.9	8.36

恒功率放电表(W/cell) 25°C Constant Power Discharge

F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	593.2	446.1	372.9	314.3	242.3	181.4	153.6	115.6	92.7	70.2	56.0	46.9	40.8	33.2	27.8	15.0
1.80V/cell	681.0	519.7	429.1	358.7	271.7	201.4	168.9	125.7	100.4	75.6	60.2	50.4	43.6	35.5	29.6	15.8
1.75V/cell	731.8	550.5	449.2	372.7	281.5	207.9	173.9	129.2	102.9	77.3	61.5	51.4	44.4	36.1	30.1	16.0
1.70V/cell	779.7	579.4	469.4	388.3	291.3	214.1	179.0	132.7	105.6	79.2	62.8	52.4	45.3	36.6	30.5	16.2
1.67V/cell	806.2	596.0	485.5	396.8	297.0	217.8	181.9	134.6	107.0	80.1	63.5	52.9	45.7	37.0	30.7	16.3
1.60V/cell	866.3	631.8	506.5	415.9	309.8	226.7	188.9	139.5	110.7	82.6	65.3	54.3	46.8	37.7	31.3	16.6



Tracer Dream 75V Series MPPT Solar Charge Controller

Overview

Tracer Dream 75V Series adopts MPPT technology. It's also ran by 32 bits CPU,so stability and speed can be guaranteed. Based on the synchronous rectifier technology,the transfer efficiency of circuit can be increased up to 98.5% and the Pmax tracking accuracy up to 99.5%.So our MPPT can trace the accurate Pmax in the shortest time (10~20s),even when the sunlight changes rapidly. It can perfectly handle extreme weather or weak sunlight.

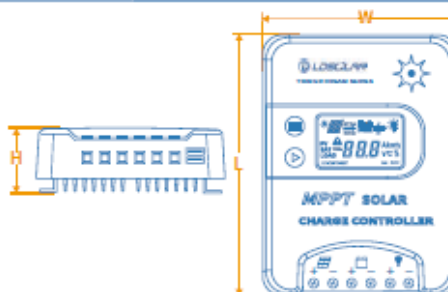
Features

- Advanced MPPT technology, fast and stable track the Maximum Power Point, tracking accuracy 99.5%
- Adopt Synchronous Rectifier Technology, significantly improve the transfer efficiency of circuit, maximum 98.5%.
- Accurately identify and track multi peak power point function
- PV array limited power input function, to ensure that the controller does not overload operation under any conditions.
- Widely range of Maximum Power Point of PV array, Max PV input Voltage 75V.
- 12/24VDC system voltage automatic recognition
- Humanized LCD displaying, dynamic display operation data and working state
- Built-in operation log, account system working state
- Multi load control mode: Normal Mode, Sensor Mode, Timer and Sensor Mode
- 3 stages charging mode, Sealed, Gel, Flooded 3 types battery charging procedure selection
- Temperature Compensation Function
- Accumulation function of charging and discharging, actual time display power generation function
- Fulllest digital protection functions: Reverse connection, Overcharging,Over-discharging, Overvoltage, Overload, Short circuit



Mechanical size

Model	T02207	T02207	T02207
Charge and load current	15A	20A	30A
Size (L×W×H)mm	165×123×46	195×123×46	205×157×53
Mounting hole size		Φ5mm	
Weight(kg)	0.63	0.82	1.2
Terminal scale	10mm ² /6AWG		16mm ² /6AWG



Please refer to the indicator diagram on the right

Dimension reference drawing

Application scenario



Solar RV



Household solar energy



Solar street lamp



Solar Power Generator



Solar boat

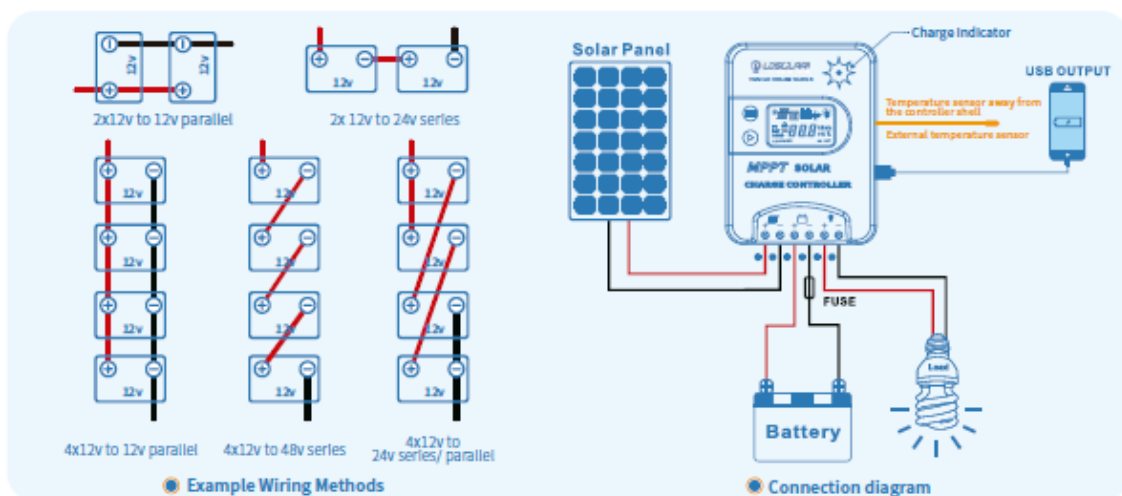
Safety Protection



Technical specifications

Model	TD2107	TD2207	TD2307
System Voltage	12V/24V DC auto		
Working voltage range	8-32V		
Max.PV open circuit voltage	75V (Min.working temperature) 70V (25°C)		
MPP voltage range	(Battery voltage+2V) -65V		
Discharge circuit voltage drop	≤0.25V		
Self-consumption	<23mA		
Rated charge current	15A	20A	30A
Rated discharge current	15A	20A	30A
Max.PV Input power	200W/12V 400W/24V	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V
Grounding	Common positive		
Battery type	Sealed(Default)/Gel/Flood/Lithium		
LVD※*	11.0V ADJ 9V...12V ; x2/24V ; x4/48V		
LVR※*	12.6V ADJ 11V...13.5V ; x2/24V ; x4/48V		
Float Voltage※*	13.8V ADJ 13V... 15V ; x2/24V ; M/48V		
Boost Voltage※*	14.4V ADJ 13V...17V ; x2/24 ; x4/48V battery voltage less than 12.6v auto boost 2hours		
Battery Over Voltage Protection	16.5V ; x2/24V ; x4/48V		
USB Output	5VDC/2A 2PCS		
Temperature Consumption†	For 12Vsystem-24mW /°C ; x2/24V ; x4/48V		
Relative humidity	≤95% , N.C.		
Working Temperature	-20°C→+50°C(Product can work continuously at full load)		
LCD temperature range	-20°C→+70°C		
Waterproof grade	IP32		

Connection

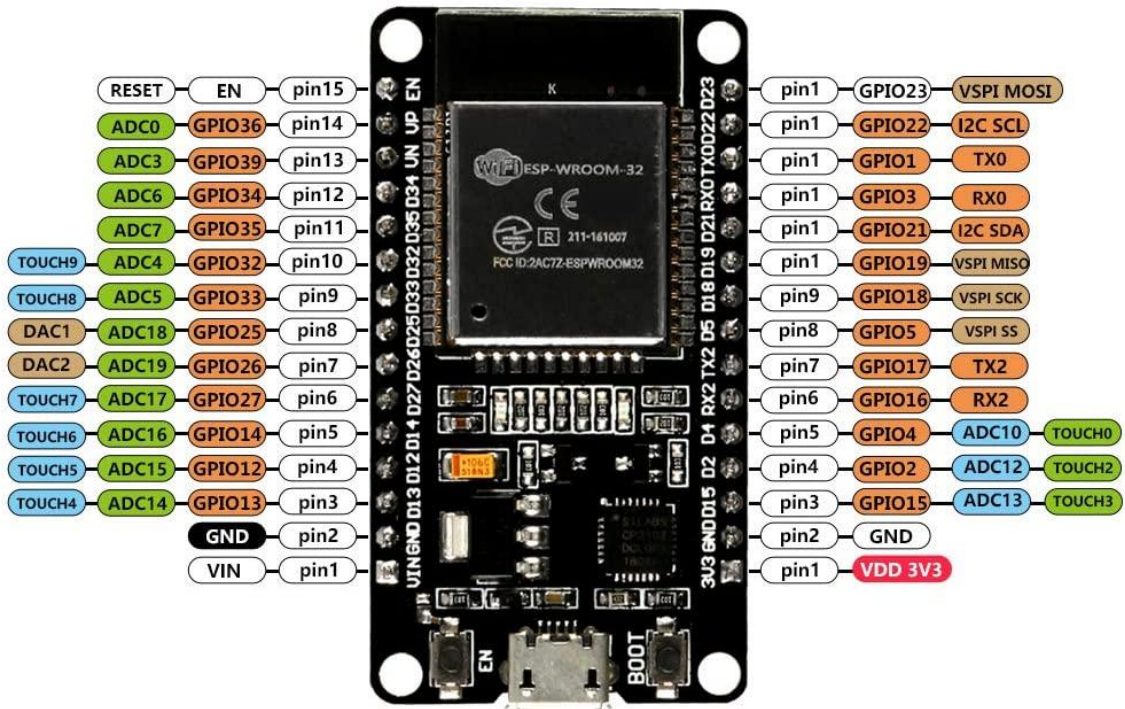


Info@ldsolarpv.com


www.ldsolar.com

0086-27-84792636

Anexos X Ficha técnica del Esp32




Anexos XI Ficha técnica de la PC



Designed by
EVOO
California, USA

18.5" All-in-One Desktop PC
 Model: EV-AIO-185-1
 Power Supply: DC 12V \approx 3.0
 Power Consumption: \leq 36W



EVAIO18501BK18H00735

CAUTION
 RISK OF ELECTRIC SHOCK
 DO NOT OPEN

CAUTION: TO REDUCE THE RISK OF ELECTRIC SHOCK, DO NOT REMOVE COVER (OR BACK). NO USER-SERVICEABLE PARTS INSIDE. REFER SERVICING TO QUALIFIED SERVICE PERSONNEL.

Anexos XII *Modulo fotovoltaico del bombeo de laboratorio de fotovoltaico*



Anexos XIII *Pruebas en el laboratorio de 10 PCs*



Anexos XIV *Acondicionamiento del microbús interior y exterior*



Anexos XV *Proceso de pintado del exterior microbús*



Anexos XVI *Funcionamiento de las computadoras con libros preinstalados*



Anexos XVII *Microbús finalizado e instalado el módulo fotovoltaico en el techo*



Anexos XVIII *Datos que muestra el controlador MPPT al medio día*



Anexos XIX Datos del esp32 1 que es el lado izquierdo del microbús mediciones por minuto en un rango de 5 horas

Fecha y Hora	Corriente 1 (A)	Voltaje 1 (V)	Potencia 1 (W)	Corriente 2 (A)	Voltaje 2 (V)	Potencia 2 (W)	Corriente 3 (A)	Voltaje 3 (V)	Potencia 3 (W)	Corriente 4 (A)	Voltaje 4 (V)	Potencia 4 (W)	Corriente 5 (A)	Voltaje 5 (V)	Potencia 5 (W)	Corriente Total (A)	Potencia Total (W)
19/09/2025 09:54:03	1.589	9.751	15.458	1.680	9.805	15.725	1.617	9.787	15.929	1.593	9.829	15.420	1.695	9.858	16.645	8.175	79.177
19/09/2025 09:55:00	1.622	9.738	15.926	1.683	9.825	15.919	1.665	9.768	15.941	1.646	9.829	15.730	1.690	9.852	16.634	8.306	80.149
19/09/2025 09:56:03	1.593	9.748	15.939	1.672	9.817	16.510	1.646	9.772	16.408	1.563	9.819	15.408	1.654	9.891	16.570	8.128	80.835
19/09/2025 09:57:03	1.675	9.757	16.260	1.688	9.829	16.540	1.672	9.773	15.634	1.623	9.840	16.160	1.701	9.884	15.819	8.359	80.413
19/09/2025 09:58:01	1.627	9.752	15.497	1.630	9.815	16.051	1.627	9.782	16.378	1.600	9.838	15.794	1.632	9.868	16.240	8.117	79.960
19/09/2025 09:59:02	1.611	9.747	15.640	1.607	9.827	16.053	1.664	9.766	16.439	1.627	9.817	15.918	1.652	9.870	15.983	8.162	80.032
19/09/2025 10:00:03	1.656	9.741	15.806	1.604	9.833	16.435	1.616	9.784	16.530	1.581	9.821	15.908	1.695	9.889	15.887	8.152	80.566
19/09/2025 10:01:01	1.630	9.769	16.265	1.683	9.825	15.973	1.653	9.801	16.256	1.585	9.840	16.309	1.649	9.860	16.549	8.199	81.352
19/09/2025 10:02:02	1.611	9.776	16.338	1.671	9.827	15.795	1.694	9.765	15.962	1.620	9.822	16.247	1.650	9.884	16.607	8.245	80.949
19/09/2025 10:03:03	1.661	9.749	16.392	1.668	9.799	15.935	1.661	9.789	16.056	1.659	9.824	16.180	1.610	9.853	16.628	8.259	81.192
19/09/2025 10:04:02	1.666	9.751	16.359	1.632	9.804	16.065	1.604	9.797	16.599	1.658	9.823	15.714	1.624	9.887	16.704	8.184	81.440
19/09/2025 10:05:02	1.647	9.761	15.405	1.636	9.835	15.730	1.697	9.777	16.510	1.586	9.815	15.476	1.618	9.876	16.404	8.185	79.525
19/09/2025 10:06:01	1.584	9.765	15.447	1.694	9.824	16.156	1.614	9.769	16.092	1.571	9.822	15.923	1.659	9.871	16.812	8.123	80.430
19/09/2025 10:07:00	1.636	9.752	15.547	1.605	9.819	16.418	1.670	9.766	16.572	1.620	9.840	15.771	1.634	9.880	16.297	8.165	80.605
19/09/2025 10:08:03	1.656	9.772	15.748	1.676	9.811	16.191	1.652	9.790	16.452	1.603	9.828	15.556	1.610	9.855	16.697	8.196	80.645
19/09/2025 10:09:01	1.593	9.758	16.229	1.629	9.798	15.750	1.628	9.786	16.530	1.637	9.826	15.429	1.654	9.860	15.926	8.141	79.864
19/09/2025 10:10:02	1.603	9.754	16.292	1.602	9.811	16.118	1.616	9.773	16.312	1.614	9.814	15.767	1.669	9.868	15.962	8.104	80.451
19/09/2025 10:11:00	1.668	9.762	15.586	1.672	9.816	16.387	1.616	9.797	16.487	1.612	9.815	15.982	1.676	9.877	16.404	8.245	80.845
19/09/2025 10:12:03	1.582	9.774	16.019	1.631	9.805	15.736	1.684	9.793	16.521	1.625	9.810	15.956	1.686	9.858	15.938	8.209	80.170
19/09/2025 10:13:03	1.655	9.768	16.317	1.670	9.803	15.738	1.686	9.775	15.721	1.573	9.809	16.105	1.651	9.867	15.889	8.235	79.769
19/09/2025 10:14:01	1.627	9.738	15.863	1.669	9.816	16.048	1.645	9.794	16.594	1.629	9.828	15.798	1.642	9.862	16.010	8.211	80.313
19/09/2025 10:15:00	1.624	9.749	15.503	1.652	9.819	15.873	1.609	9.774	15.963	1.610	9.824	15.653	1.671	9.878	16.601	8.166	79.592
19/09/2025 10:16:00	1.580	9.755	15.857	1.676	9.806	16.613	1.687	9.791	16.069	1.643	9.819	15.870	1.604	9.889	16.741	8.190	81.149
19/09/2025 10:17:01	1.662	9.749	15.775	1.656	9.820	16.259	1.647	9.769	16.421	1.575	9.848	16.306	1.666	9.859	16.147	8.206	80.908
19/09/2025 10:18:02	1.616	9.764	15.977	1.627	9.832	15.965	1.642	9.792	16.294	1.591	9.824	15.376	1.643	9.860	16.788	8.119	80.400
19/09/2025 10:19:03	1.634	9.769	15.838	1.672	9.815	16.383	1.639	9.774	16.522	1.656	9.840	15.860	1.648	9.876	16.623	8.248	81.225
19/09/2025 10:20:02	1.647	9.765	15.417	1.657	9.830	16.053	1.635	9.787	16.030	1.616	9.816	15.660	1.632	9.870	16.040	8.188	79.199
19/09/2025 10:21:03	1.650	9.776	16.393	1.599	9.833	15.810	1.651	9.771	16.002	1.654	9.818	15.436	1.615	9.881	16.400	8.169	80.041
19/09/2025 10:22:00	1.675	9.747	15.943	1.688	9.800	15.915	1.659	9.793	15.661	1.630	9.831	15.766	1.643	9.864	16.795	8.295	80.079
19/09/2025 10:23:02	1.633	9.771	15.873	1.653	9.800	16.320	1.645	9.766	16.092	1.653	9.808	15.972	1.633	9.874	16.662	8.217	80.919
19/09/2025 10:24:03	1.620	9.767	16.354	1.685	9.815	15.730	1.688	9.771	16.353	1.593	9.809	15.859	1.699	9.868	16.177	8.284	80.473
19/09/2025 10:25:02	1.675	9.751	15.555	1.686	9.820	15.950	1.630	9.771	15.930	1.570	9.814	15.360	1.697	9.863	16.120	8.259	78.916
19/09/2025 10:26:02	1.644	9.765	15.589	1.643	9.813	15.886	1.656	9.766	16.092	1.641	9.817	15.910	1.667	9.881	16.633	8.251	80.109
19/09/2025 10:27:01	1.610	9.740	16.207	1.649	9.809	15.879	1.629	9.794	15.848	1.641	9.829	15.563	1.693	9.884	16.363	8.221	79.860
19/09/2025 10:28:03	1.592	9.768	15.660	1.640	9.822	16.361	1.674	9.803	16.402	1.623	9.835	15.672	1.678	9.865	15.977	8.206	80.072
19/09/2025 10:29:03	1.664	9.757	16.199	1.643	9.796	16.504	1.609	9.795	15.689	1.619	9.821	15.643	1.637	9.877	16.141	8.172	80.176
19/09/2025 10:30:01	1.616	9.748	15.671	1.688	9.835	16.394	1.617	9.798	16.334	1.652	9.818	16.189	1.663	9.859	16.475	8.236	81.064
19/09/2025 10:31:00	1.646	9.762	15.433	1.677	9.805	16.323	1.679	9.764	16.008	1.578	9.841	15.379	1.625	9.884	15.967	8.204	79.109
19/09/2025 10:32:02	1.627	9.762	15.916	1.611	9.833	16.594	1.617	9.769	15.671	1.623	9.815	15.679	1.671	9.863	16.512	8.148	80.372
19/09/2025 10:33:01	1.600	9.744	15.596	1.659	9.800	15.736	1.661	9.786	16.482	1.566	9.835	15.726	1.607	9.859	16.523	8.093	80.064
19/09/2025 10:34:02	1.640	9.737	16.157	1.698	9.806	15.845	1.696	9.803	16.117	1.575	9.845	15.950	1.686	9.890	16.084	8.294	80.153
19/09/2025 10:35:02	1.586	9.753	16.041	1.658	9.805	16.092	1.651	9.790	16.228	1.605	9.817	16.120	1.661	9.869	16.212	8.160	80.692
19/09/2025 10:36:02	1.621	9.759	16.323	1.677	9.836	16.050	1.617	9.779	16.361	1.643	9.812	16.059	1.608	9.878	16.749	8.166	81.542

19/09/2025 10:37:02	1.634	9.771	16.182	1.675	9.796	16.096	1.631	9.770	16.284	1.634	9.847	16.084	1.690	9.884	16.563	8.264	81.208
19/09/2025 10:38:00	1.623	9.773	15.580	1.633	9.822	15.884	1.681	9.770	16.360	1.658	9.819	15.523	1.690	9.879	16.601	8.286	79.949
19/09/2025 10:39:02	1.655	9.757	16.200	1.635	9.831	15.827	1.634	9.779	16.391	1.565	9.819	16.243	1.688	9.875	16.330	8.177	80.990
19/09/2025 10:40:02	1.663	9.766	16.041	1.671	9.823	16.187	1.671	9.793	16.218	1.599	9.827	15.745	1.680	9.867	16.027	8.283	80.218
19/09/2025 10:41:00	1.657	9.754	16.068	1.648	9.811	16.606	1.676	9.765	15.995	1.577	9.817	15.342	1.670	9.889	16.405	8.228	80.416
19/09/2025 10:42:02	1.584	9.766	16.232	1.655	9.834	16.070	1.649	9.798	15.872	1.565	9.848	15.999	1.642	9.857	16.586	8.094	80.758
19/09/2025 10:43:03	1.599	9.744	15.973	1.669	9.832	15.721	1.677	9.802	16.532	1.587	9.810	15.935	1.616	9.887	15.817	8.149	79.978
19/09/2025 10:44:03	1.633	9.751	15.865	1.676	9.813	16.384	1.630	9.800	16.599	1.585	9.826	15.457	1.631	9.880	15.927	8.156	80.232
19/09/2025 10:45:02	1.673	9.761	16.036	1.625	9.819	15.969	1.650	9.801	15.987	1.603	9.830	16.291	1.637	9.875	16.288	8.189	80.570
19/09/2025 10:46:01	1.663	9.737	15.697	1.613	9.835	15.923	1.667	9.765	15.741	1.575	9.827	15.893	1.638	9.865	16.251	8.156	79.505
19/09/2025 10:47:01	1.664	9.765	15.582	1.627	9.835	16.002	1.615	9.803	15.851	1.610	9.829	15.800	1.659	9.858	16.796	8.175	80.031
19/09/2025 10:48:00	1.610	9.769	16.016	1.649	9.814	16.402	1.626	9.779	16.300	1.653	9.848	15.729	1.623	9.870	15.906	8.161	80.352
19/09/2025 10:49:01	1.623	9.752	15.633	1.632	9.830	16.497	1.664	9.799	15.802	1.636	9.843	15.541	1.622	9.883	16.137	8.176	79.610
19/09/2025 10:50:01	1.627	9.754	15.479	1.655	9.808	16.266	1.664	9.772	16.409	1.645	9.820	16.284	1.674	9.882	16.629	8.265	81.066
19/09/2025 10:51:03	1.595	9.770	15.400	1.603	9.811	16.000	1.648	9.782	16.552	1.641	9.830	16.033	1.603	9.878	16.426	8.091	80.411
19/09/2025 10:52:00	1.583	9.767	16.008	1.649	9.803	15.988	1.678	9.766	16.593	1.600	9.808	15.899	1.618	9.892	16.375	8.127	80.862
19/09/2025 10:53:02	1.674	9.748	15.762	1.635	9.804	15.802	1.647	9.766	15.638	1.632	9.824	15.962	1.646	9.891	16.555	8.234	79.718
19/09/2025 11:03:09	1.630	9.756	15.899	1.648	9.816	16.178	1.649	9.784	16.129	1.611	9.828	15.831	1.653	9.872	16.314	8.190	80.350
19/09/2025 11:04:10	1.612	9.740	15.702	1.665	9.788	16.295	1.623	9.808	15.915	1.576	9.852	15.527	1.669	9.856	16.450	8.145	79.889
19/09/2025 11:05:10	1.608	9.752	15.683	1.638	9.796	16.044	1.642	9.756	16.015	1.650	9.828	16.216	1.652	9.888	16.338	8.190	80.296
19/09/2025 11:06:11	1.604	9.756	15.646	1.653	9.792	16.187	1.635	9.788	16.000	1.640	9.840	16.137	1.635	9.860	16.122	8.166	80.091
19/09/2025 11:07:12	1.603	9.740	15.612	1.680	9.800	16.467	1.619	9.796	15.856	1.599	9.824	15.710	1.605	9.872	15.842	8.106	79.486
19/09/2025 11:08:13	1.590	9.768	15.528	1.646	9.812	16.149	1.667	9.788	16.317	1.580	9.852	15.568	1.632	9.892	16.147	8.115	79.708
19/09/2025 11:09:14	1.624	9.756	15.847	1.673	9.804	16.399	1.620	9.796	15.873	1.675	9.824	16.452	1.629	9.868	16.076	8.221	80.648
19/09/2025 11:10:15	1.634	9.748	15.932	1.683	9.788	16.476	1.620	9.796	15.873	1.568	9.852	15.444	1.624	9.876	16.036	8.129	79.761
19/09/2025 11:11:16	1.749	9.692	16.955	1.668	9.816	16.372	1.654	9.796	16.204	1.633	9.836	16.059	1.628	9.888	16.101	8.332	81.691
19/09/2025 11:12:17	1.685	9.736	16.400	1.688	9.776	16.504	1.643	9.804	16.103	1.608	9.844	15.826	1.625	9.872	16.040	8.248	80.873
19/09/2025 11:13:18	1.599	9.752	15.593	1.669	9.780	16.327	1.609	9.808	15.779	1.574	9.844	15.494	1.632	9.884	16.126	8.083	79.319
19/09/2025 11:14:19	1.633	9.712	15.857	1.668	9.800	16.345	1.616	9.792	15.823	1.586	9.848	15.616	1.623	9.876	16.024	8.125	79.665
19/09/2025 11:15:20	1.648	9.744	16.057	1.670	9.772	16.315	1.605	9.780	15.693	1.663	9.828	16.339	1.607	9.880	15.875	8.191	80.280
19/09/2025 11:16:21	1.617	9.744	15.756	1.685	9.764	16.449	1.653	9.792	16.190	1.587	9.852	15.636	1.649	9.864	16.267	8.191	80.298
19/09/2025 11:17:22	1.591	9.756	15.519	1.651	9.792	16.164	1.646	9.788	16.107	1.650	9.836	16.225	1.626	9.868	16.045	8.163	80.060
19/09/2025 11:18:22	1.605	9.748	15.645	1.657	9.796	16.234	1.623	9.796	15.902	1.621	9.864	15.986	1.623	9.888	16.048	8.129	79.814
19/09/2025 11:19:24	1.620	9.708	15.728	1.679	9.712	16.302	1.640	9.748	15.990	1.715	9.776	16.768	1.626	9.820	15.967	8.280	80.754
19/09/2025 11:20:24	1.602	9.704	15.550	1.667	9.748	16.253	1.636	9.756	15.957	1.654	9.784	16.185	1.632	9.836	16.054	8.192	79.999
19/09/2025 11:21:25	1.653	9.708	16.046	1.671	9.764	16.314	1.632	9.768	15.940	1.676	9.796	16.416	1.657	9.832	16.293	8.289	81.009
19/09/2025 11:22:26	1.606	9.724	15.614	1.650	9.788	16.145	1.639	9.760	16.001	1.808	9.768	17.656	1.660	9.832	16.319	8.362	81.735
19/09/2025 11:23:28	1.621	9.692	15.714	1.644	9.784	16.088	1.663	9.772	16.255	1.645	9.796	16.115	1.642	9.836	16.153	8.216	80.324
19/09/2025 11:24:28	1.613	9.648	15.562	1.685	9.724	16.385	1.658	9.712	16.098	1.568	9.796	15.362	1.641	9.808	16.097	8.165	79.504
19/09/2025 11:25:29	1.605	9.696	15.565	1.681	9.732	16.359	1.648	9.720	16.018	1.567	9.796	15.352	1.643	9.808	16.118	8.145	79.411
19/09/2025 11:26:30	1.662	9.668	16.070	1.699	9.708	16.489	1.610	9.708	15.629	1.579	9.776	15.435	1.657	9.784	16.213	8.207	79.837
19/09/2025 11:27:30	1.603	9.680	15.514	1.669	9.732	16.245	1.631	9.740	15.884	1.602	9.780	15.669	1.627	9.776	15.909	8.132	79.220
19/09/2025 11:28:31	1.617	9.700	15.685	1.687	9.736	16.423	1.623	9.740	15.805	1.635	9.784	15.993	1.623	9.812	15.926	8.184	79.832
19/09/2025 11:29:32	1.632	9.680	15.799	1.682	9.720	16.344	1.626	9.708	15.785	1.641	9.768	16.024	1.631	9.808	15.994	8.211	79.946
19/09/2025 11:30:33	1.653	9.692	16.023	1.678	9.744	16.347	1.621	9.744	15.799	1.638	9.780	16.015	1.693	9.796	16.580	8.282	80.763
19/09/2025 11:31:37	1.630	9.648	15.730	1.673	9.700	16.231	1.650	9.668	15.951	1.629	9.752	15.889	1.624	9.780	15.881	8.207	79.682
19/09/2025 11:32:36	1.673	9.608	16.078	1.711	9.672	16.544	1.639	9.672	15.851	1.667	9.716	16.197	1.699	9.732	16.535	8.389	81.205
19/09/2025 11:33:37	1.666	9.600	15.995	1.676	9.632	16.147	1.646	9.652	15.888	1.589	9.724	15.453	1.665	9.748	16.229	8.243	79.713
19/09/2025 11:34:37	1.670	9.580	15.994	1.686	9.664	16.291	1.657	9.680	16.042	1.592	9.728	15.491	1.653	9.760	16.130	8.258	79.947
19/09/2025 11:35:44	1.638	9.608	15.741	1.695	9.648	16.353	1.636	9.620	15.735	1.598	9.692	15.489	1.661	9.696	16.108	8.228	79.426
19/09/2025 11:36:40	1.691	9.592	16.223	1.716	9.636	16.538	1.647	9.668	15.927	1.660	9.692	16.085	1.692	9.736	16.475	8.407	81.248
19/09/2025 11:37:41	1.626	9.612	15.631	1.698	9.636	16.359	1.641	9.628	15.795	1.602	9.708	15.554	1.671	9.728	16.254	8.237	79.593

19/09/2025 11:38:43	1.653	9.616	15.899	1.697	9.660	16.390	1.642	9.672	15.884	1.609	9.708	15.624	1.666	9.736	16.221	8.268	80.019
19/09/2025 11:39:44	1.625	9.616	15.628	1.706	9.656	16.473	1.634	9.660	15.780	1.687	9.684	16.337	1.683	9.712	16.343	8.335	80.561
19/09/2025 11:40:47	1.595	9.716	15.492	1.659	9.756	16.180	1.627	9.748	15.864	1.619	9.800	15.867	1.635	9.804	16.034	8.135	79.437
19/09/2025 11:41:46	1.633	9.652	15.765	1.688	9.712	16.395	1.650	9.696	16.001	1.628	9.764	15.893	1.638	9.800	16.055	8.238	80.109
19/09/2025 11:42:46	1.622	9.656	15.663	1.731	9.700	16.790	1.650	9.696	16.000	1.731	9.748	16.877	1.667	9.768	16.283	8.402	81.613
19/09/2025 11:52:05	1.787	9.540	17.046	1.696	9.668	16.400	1.635	9.664	15.798	1.607	9.724	15.625	1.648	9.732	16.034	8.372	80.903
19/09/2025 11:53:06	1.638	9.620	15.760	1.694	9.656	16.357	1.665	9.672	16.104	1.582	9.736	15.398	1.674	9.752	16.324	8.253	79.942
19/09/2025 11:54:06	1.612	9.628	15.517	1.668	9.680	16.150	1.660	9.672	16.056	1.650	9.684	15.980	1.657	9.748	16.156	8.248	79.859
19/09/2025 11:55:07	1.634	9.660	15.784	1.663	9.720	16.166	1.643	9.728	15.985	1.608	9.772	15.717	1.646	9.808	16.144	8.195	79.796
19/09/2025 11:56:07	1.662	9.680	16.087	1.696	9.728	16.498	1.620	9.740	15.779	1.596	9.792	15.623	1.765	9.776	17.253	8.338	81.240
19/09/2025 12:00:15	1.768	9.556	16.896	1.725	9.680	16.693	1.644	9.684	15.923	1.641	9.712	15.937	1.688	9.752	16.465	8.466	81.915
19/09/2025 12:01:14	1.690	9.556	16.152	1.707	9.624	16.428	1.628	9.632	15.683	1.611	9.676	15.586	1.664	9.716	16.169	8.300	80.018
19/09/2025 12:02:16	1.686	9.584	16.157	1.814	9.588	17.389	1.657	9.612	15.922	1.674	9.672	16.194	1.674	9.696	16.233	8.504	81.895
19/09/2025 12:03:15	1.676	9.580	16.054	1.690	9.644	16.296	1.639	9.648	15.813	1.692	9.660	16.342	1.683	9.700	16.325	8.379	80.830
19/09/2025 12:04:18	1.676	9.572	16.043	1.693	9.644	16.328	1.674	9.636	16.129	1.693	9.664	16.357	1.652	9.724	16.063	8.387	80.920
19/09/2025 12:05:18	1.630	9.596	15.645	1.685	9.648	16.261	1.670	9.620	16.068	1.671	9.676	16.173	1.665	9.720	16.180	8.322	80.327
19/09/2025 12:10:16	1.627	9.616	15.646	1.663	9.668	16.078	1.664	9.660	16.074	1.578	9.736	15.360	1.647	9.760	16.075	8.179	79.233
19/09/2025 12:11:16	1.636	9.560	15.643	1.682	9.600	16.151	1.683	9.592	16.142	1.721	9.624	16.563	1.665	9.688	16.132	8.388	80.631
19/09/2025 12:12:17	1.640	9.572	15.702	1.683	9.632	16.215	1.663	9.632	16.017	1.613	9.696	15.642	1.653	9.716	16.062	8.253	79.637
19/09/2025 12:13:18	1.677	9.616	16.126	1.729	9.636	16.664	1.631	9.664	15.762	1.746	9.680	16.901	1.645	9.728	16.006	8.429	81.458
19/09/2025 12:14:22	1.637	9.596	15.706	1.694	9.668	16.378	1.668	9.616	16.042	1.703	9.672	16.467	1.692	9.712	16.430	8.393	81.022
19/09/2025 12:15:20	1.651	9.584	15.820	1.692	9.632	16.297	1.659	9.640	15.996	1.601	9.708	15.545	1.679	9.704	16.297	8.283	79.956
19/09/2025 12:16:21	1.767	9.524	16.826	1.692	9.616	16.270	1.662	9.584	15.927	1.700	9.644	16.394	1.686	9.684	16.325	8.506	81.742
19/09/2025 12:17:21	1.633	9.576	15.637	1.714	9.612	16.475	1.693	9.612	16.268	1.632	9.672	15.780	1.665	9.704	16.154	8.336	80.314
19/09/2025 12:18:23	1.647	9.560	15.743	1.708	9.616	16.419	1.642	9.608	15.773	1.669	9.648	16.104	1.670	9.652	16.121	8.335	80.160
19/09/2025 12:19:24	1.673	9.540	15.960	1.709	9.612	16.427	1.683	9.588	16.138	1.618	9.664	15.637	1.658	9.688	16.065	8.341	80.227
19/09/2025 12:20:26	1.651	9.544	15.757	1.710	9.608	16.432	1.654	9.628	15.925	1.640	9.668	15.857	1.669	9.712	16.208	8.324	80.178
19/09/2025 12:21:27	1.743	9.536	16.619	1.690	9.620	16.262	1.691	9.596	16.225	1.659	9.624	15.964	1.647	9.692	15.959	8.429	81.029
19/09/2025 12:22:27	1.646	9.580	15.771	1.681	9.628	16.189	1.656	9.604	15.906	1.583	9.700	15.358	1.702	9.692	16.494	8.269	79.717
19/09/2025 12:23:28	1.666	9.564	15.938	1.688	9.612	16.223	1.665	9.612	16.000	1.570	9.672	15.182	1.642	9.700	15.930	8.231	79.273
19/09/2025 12:24:29	1.713	9.536	16.333	1.667	9.632	16.055	1.682	9.632	16.204	1.668	9.664	16.117	1.693	9.696	16.416	8.423	81.125
19/09/2025 12:25:30	1.662	9.544	15.857	1.683	9.632	16.213	1.666	9.624	16.032	1.667	9.660	16.098	1.703	9.696	16.512	8.380	80.712
19/09/2025 12:26:31	1.642	9.560	15.697	1.691	9.628	16.285	1.647	9.624	15.851	1.596	9.684	15.460	1.724	9.684	16.692	8.300	79.984
19/09/2025 12:27:32	1.661	9.536	15.842	1.700	9.584	16.292	1.703	9.556	16.278	1.622	9.624	15.610	1.699	9.656	16.407	8.386	80.428
19/09/2025 12:28:33	1.649	9.544	15.740	1.727	9.576	16.541	1.672	9.576	16.013	1.637	9.640	15.784	1.668	9.640	16.079	8.354	80.156
19/09/2025 12:29:34	1.688	9.556	16.127	1.706	9.624	16.418	1.649	9.636	15.886	1.641	9.676	15.876	1.695	9.684	16.412	8.378	80.718
19/09/2025 12:30:35	1.656	9.568	15.848	1.705	9.612	16.384	1.673	9.624	16.101	1.700	9.660	16.425	1.699	9.684	16.455	8.433	81.212
19/09/2025 12:31:37	1.658	9.500	15.751	1.701	9.572	16.282	1.677	9.584	16.071	1.634	9.624	15.723	1.717	9.628	16.534	8.387	80.361
19/09/2025 12:32:38	1.638	9.540	15.625	1.704	9.552	16.274	1.676	9.572	16.038	1.613	9.648	15.562	1.657	9.668	16.021	8.287	79.519
19/09/2025 12:33:37	1.671	9.544	15.952	1.685	9.604	16.185	1.652	9.588	15.841	1.617	9.660	15.619	1.655	9.716	16.080	8.281	79.677
19/09/2025 12:34:39	1.631	9.572	15.613	1.715	9.580	16.432	1.657	9.596	15.904	1.648	9.672	15.941	1.679	9.684	16.260	8.331	80.150
19/09/2025 12:35:39	1.647	9.540	15.714	1.781	9.592	17.084	1.643	9.616	15.796	1.673	9.644	16.135	1.739	9.668	16.812	8.483	81.542
19/09/2025 12:36:39	1.637	9.564	15.654	1.692	9.568	16.193	1.656	9.604	15.902	1.618	9.664	15.640	1.665	9.668	16.099	8.269	79.489
19/09/2025 12:37:41	1.656	9.564	15.835	1.705	9.608	16.385	1.641	9.620	15.782	1.651	9.644	15.917	1.664	9.676	16.096	8.316	80.015
19/09/2025 12:50:30	1.668	9.508	15.856	1.823	9.516	17.348	1.638	9.560	15.658	1.634	9.596	15.676	1.652	9.644	15.929	8.414	80.467
19/09/2025 12:51:30	1.721	9.496	16.344	1.706	9.552	16.291	1.618	9.576	15.496	1.601	9.624	15.406	1.678	9.656	16.206	8.324	79.742
19/09/2025 12:52:31	1.678	9.432	15.823	1.717	9.520	16.344	1.658	9.528	15.800	1.636	9.560	15.642	1.666	9.592	15.977	8.355	79.587
19/09/2025 12:53:32	1.687	9.496	16.024	1.796	9.540	17.130	1.690	9.540	16.119	1.611	9.620	15.495	1.660	9.640	16.001	8.443	80.769
19/09/2025 12:54:33	1.683	9.456	15.913	1.707	9.528	16.261	1.670	9.532	15.918	1.687	9.544	16.101	1.725	9.564	16.494	8.471	80.686
19/09/2025 12:55:35	1.669	9.468	15.797	1.720	9.532	16.395	1.695	9.500	16.102	1.755	9.572	16.800	1.695	9.584	16.241	8.533	81.335
19/09/2025 12:56:36	1.689	9.468	15.994	1.696	9.544	16.186	1.663	9.532	15.854	1.682	9.584	16.121	1.709	9.608	16.421	8.440	80.576
19/09/2025 12:57:38	1.680	9.412	15.814	1.692	9.532	16.128	1.658	9.536	15.811	1.746	9.560	16.694	1.710	9.612	16.436	8.486	80.882

19/09/2025 12:58:38	1.654	9.484	15.686	1.698	9.552	16.216	1.672	9.552	15.967	1.622	9.620	15.607	1.703	9.628	16.395	8.348	79.869
19/09/2025 12:59:40	1.660	9.504	15.776	1.710	9.560	16.343	1.645	9.556	15.715	1.681	9.576	16.095	1.664	9.628	16.025	8.359	79.954
19/09/2025 13:00:40	1.665	9.492	15.807	1.707	9.528	16.264	1.669	9.516	15.879	1.740	9.560	16.633	1.664	9.628	16.024	8.445	80.607
19/09/2025 13:01:41	1.675	9.480	15.875	1.715	9.552	16.385	1.671	9.544	15.952	1.731	9.572	16.569	1.665	9.616	16.013	8.458	80.793
19/09/2025 13:02:44	1.665	9.448	15.732	1.688	9.552	16.125	1.651	9.532	15.735	1.675	9.568	16.024	1.679	9.616	16.141	8.357	79.756
19/09/2025 13:03:42	1.695	9.496	16.097	1.730	9.544	16.509	1.668	9.556	15.942	1.648	9.588	15.802	1.676	9.624	16.130	8.417	80.480
19/09/2025 13:19:04	1.658	9.492	15.737	1.712	9.540	16.336	1.653	9.548	15.786	1.618	9.600	15.535	1.680	9.640	16.197	8.322	79.591
19/09/2025 13:20:05	1.646	9.452	15.556	1.709	9.512	16.257	1.675	9.500	15.916	1.691	9.532	16.117	1.689	9.588	16.190	8.410	80.036
19/09/2025 13:23:55		9.460		1.721	9.520	16.381	1.677	9.504	15.934	1.704	9.552	16.280	1.666	9.592	15.979	6.768	64.574
19/09/2025 13:24:56	1.690	9.440	15.957	1.736	9.516	16.524	1.682	9.508	15.988	1.640	9.568	15.695	1.679	9.588	16.097	8.428	80.261
19/09/2025 13:25:57	1.692	9.456	15.996	1.722	9.492	16.348	1.670	9.516	15.889	1.749	9.556	16.717	1.701	9.596	16.327	8.534	81.277
19/09/2025 13:26:59	1.633	9.536	15.568	1.722	9.572	16.483	1.678	9.572	16.062	1.728	9.612	16.606	1.681	9.604	16.141	8.441	80.860
19/09/2025 13:28:01	1.683	9.444	15.895	1.715	9.508	16.309	1.670	9.508	15.877	1.730	9.528	16.483	1.676	9.588	16.071	8.474	80.636
19/09/2025 13:29:01	1.635	9.524	15.570	1.851	9.532	17.639	1.774	9.540	16.923	1.648	9.620	15.849	1.654	9.668	15.987	8.560	81.968
19/09/2025 13:30:04	1.710	9.456	16.174	1.722	9.492	16.341	1.678	9.496	15.931	1.656	9.532	15.780	1.696	9.572	16.235	8.461	80.461
19/09/2025 13:31:04	1.680	9.488	15.935	1.710	9.508	16.255	1.703	9.516	16.208	1.680	9.572	16.084	1.654	9.612	15.893	8.426	80.375
19/09/2025 13:32:06	1.699	9.444	16.049	1.718	9.472	16.273	1.685	9.508	16.022	1.614	9.540	15.400	1.700	9.564	16.258	8.417	80.002
19/09/2025 13:33:08	1.692	9.424	15.942	1.719	9.480	16.300	1.704	9.484	16.165	1.712	9.512	16.285	1.694	9.556	16.189	8.522	80.879
19/09/2025 13:34:08	1.670	9.428	15.743	1.729	9.496	16.419	1.669	9.476	15.814	1.703	9.508	16.192	1.677	9.584	16.068	8.447	80.235
19/09/2025 13:35:09	1.679	9.420	15.817	1.701	9.492	16.143	1.669	9.476	15.819	1.628	9.520	15.501	1.729	9.552	16.516	8.407	79.797
19/09/2025 13:36:10	1.690	9.424	15.929	1.735	9.460	16.415	1.684	9.484	15.968	1.608	9.540	15.336	1.690	9.552	16.147	8.407	79.795
19/09/2025 13:37:09	1.662	9.412	15.644	1.728	9.464	16.355	1.704	9.448	16.100	1.634	9.504	15.525	1.691	9.560	16.169	8.419	79.792
19/09/2025 13:38:09	1.658	9.404	15.588	1.716	9.456	16.230	1.703	9.444	16.085	1.594	9.528	15.184	1.703	9.532	16.232	8.374	79.319
19/09/2025 13:39:10	1.709	9.408	16.078	1.736	9.472	16.439	1.680	9.480	15.925	1.713	9.512	16.289	1.671	9.564	15.978	8.507	80.708
19/09/2025 13:40:10	1.669	9.408	15.701	1.929	9.416	18.161	1.701	9.424	16.030	1.692	9.464	16.008	1.701	9.512	16.181	8.691	82.081
19/09/2025 13:41:13	1.669	9.412	15.705	1.739	9.420	16.384	1.709	9.472	16.184	1.610	9.544	15.364	1.708	9.540	16.292	8.434	79.929
19/09/2025 13:42:34	1.714	9.412	16.130	1.748	9.464	16.538	1.688	9.468	15.981	1.599	9.544	15.259	1.693	9.544	16.154	8.441	80.063
19/09/2025 13:43:35	1.835	9.400	17.249	1.730	9.476	16.394	1.690	9.444	15.959	1.594	9.524	15.185	1.685	9.556	16.103	8.534	80.889
19/09/2025 13:44:36	1.789	9.376	16.776	1.727	9.464	16.344	1.676	9.476	15.884	1.643	9.516	15.632	1.705	9.544	16.270	8.540	80.905
19/09/2025 13:45:36	1.663	9.428	15.674	1.715	9.472	16.241	1.707	9.468	16.158	1.600	9.524	15.237	1.683	9.548	16.073	8.367	79.383
19/09/2025 13:46:36	1.658	9.432	15.638	1.721	9.452	16.262	1.709	9.460	16.166	1.697	9.508	16.131	1.695	9.544	16.175	8.479	80.373
19/09/2025 13:47:37	1.671	9.420	15.743	1.706	9.468	16.152	1.670	9.456	15.795	1.611	9.532	15.356	1.685	9.560	16.110	8.344	79.156
19/09/2025 13:48:39	1.678	9.404	15.782	1.732	9.444	16.356	1.787	9.428	16.849	1.686	9.500	16.018	1.689	9.548	16.128	8.572	81.132
19/09/2025 13:49:40	1.674	9.424	15.779	1.726	9.472	16.347	1.672	9.452	15.802	1.644	9.512	15.634	1.689	9.556	16.139	8.404	79.700
19/09/2025 13:50:40	1.677	9.412	15.788	1.723	9.464	16.304	1.690	9.468	15.999	1.682	9.504	15.983	1.706	9.540	16.271	8.477	80.344
19/09/2025 13:53:59	1.662	9.432	15.679	1.752	9.456	16.565	1.707	9.464	16.151	1.615	9.520	15.371	1.673	9.572	16.013	8.408	79.779
19/09/2025 13:55:00	1.670	9.416	15.721	1.732	9.468	16.400	1.693	9.464	16.023	1.685	9.516	16.032	1.695	9.540	16.167	8.474	80.342
19/09/2025 13:56:01	1.620	9.750	15.831	1.637	9.831	16.643	1.629	9.774	16.227	1.653	9.847	15.747	1.608	9.862	16.684	8.147	81.131
19/09/2025 13:57:01	1.673	9.763	15.782	1.601	9.803	16.511	1.673	9.790	16.418	1.652	9.845	15.517	1.670	9.868	16.376	8.269	80.604
19/09/2025 13:58:03	1.617	9.755	16.047	1.691	9.824	16.395	1.633	9.766	15.677	1.567	9.812	16.237	1.685	9.882	15.990	8.193	80.346
19/09/2025 13:59:07	1.646	9.769	16.366	1.693	9.810	16.157	1.689	9.771	16.095	1.656	9.844	16.012	1.630	9.853	15.955	8.314	80.585
19/09/2025 14:00:12	1.605	9.742	15.910	1.693	9.835	16.070	1.615	9.780	16.552	1.566	9.844	15.423	1.641	9.855	16.259	8.120	80.213
19/09/2025 14:01:12	1.592	9.768	16.386	1.693	9.808	15.710	1.630	9.778	16.620	1.653	9.833	16.044	1.622	9.886	16.629	8.191	81.390
19/09/2025 14:02:13	1.586	9.739	15.702	1.680	9.796	16.037	1.648	9.778	15.820	1.616	9.829	15.879	1.666	9.854	16.619	8.195	80.056
19/09/2025 14:03:14	1.610	9.744	15.430	1.667	9.817	16.526	1.676	9.768	16.500	1.614	9.817	15.855	1.669	9.879	16.665	8.236	80.976
19/09/2025 14:04:16	1.596	9.762	15.565	1.683	9.802	16.062	1.673	9.778	15.775	1.632	9.813	16.321	1.609	9.865	16.582	8.193	80.305
19/09/2025 14:05:19	1.597	9.770	15.795	1.658	9.798	16.139	1.620	9.796	16.470	1.649	9.832	15.949	1.670	9.885	15.875	8.194	80.228
19/09/2025 14:06:21	1.656	9.746	15.716	1.612	9.824	15.950	1.613	9.781	15.906	1.623	9.841	16.228	1.668	9.886	16.534	8.171	80.333
19/09/2025 14:07:26	1.581	9.749	15.497	1.637	9.825	15.952	1.629	9.787	16.589	1.603	9.836	16.244	1.606	9.890	16.333	8.057	80.614
19/09/2025 14:08:26	1.636	9.758	15.832	1.695	9.814	15.740	1.647	9.771	16.324	1.572	9.815	15.432	1.658	9.856	16.540	8.208	79.868
19/09/2025 14:09:28	1.618	9.745	15.738	1.633	9.823	16.292	1.652	9.767	16.028	1.640	9.820	15.339	1.664	9.869	16.298	8.207	79.694
19/09/2025 14:10:28	1.630	9.768	15.522	1.685	9.818	16.126	1.641	9.799	15.910	1.574	9.830	15.766	1.646	9.875	16.297	8.176	79.621

19/09/2025 14:11:31	1.636	9.767	15.696	1.607	9.821	16.284	1.665	9.777	15.864	1.633	9.833	16.100	1.693	9.889	15.940	8.234	79.883
19/09/2025 14:12:32	1.611	9.742	16.286	1.632	9.820	16.225	1.641	9.778	16.310	1.614	9.811	16.155	1.635	9.863	16.719	8.133	81.694

Anexos XX Datos del esp32 2 que es el lado derecho del microbús mediciones por minuto en un rango de 5 horas

Fecha y Hora	Corriente 1 (A)	Voltaje 1 (V)	Potencia 1 (W)	Corriente 2 (A)	Voltaje 2 (V)	Potencia 2 (W)	Corriente 3 (A)	Voltaje 3 (V)	Potencia 3 (W)	Corriente 4 (A)	Voltaje 4 (V)	Potencia 4 (W)	Corriente 5 (A)	Voltaje 5 (V)	Potencia 5 (W)	Corriente Total (A)	Potencia Total (W)
19/09/2025 09:54:02	1.661	9.737	16.245	1.674	9.797	16.166	1.680	9.803	15.713	1.591	9.846	16.257	1.695	9.860	16.590	8.300	80.970
19/09/2025 09:55:09	1.593	9.744	15.893	1.667	9.818	16.027	1.688	9.798	15.994	1.614	9.809	15.840	1.613	9.874	15.983	8.175	79.737
19/09/2025 09:56:08	1.603	9.762	15.898	1.611	9.808	16.615	1.669	9.786	15.785	1.605	9.840	16.179	1.684	9.876	16.114	8.173	80.590
19/09/2025 09:57:10	1.625	9.751	16.376	1.648	9.816	16.240	1.698	9.779	16.155	1.631	9.823	15.376	1.693	9.853	15.918	8.296	80.065
19/09/2025 09:58:06	1.631	9.775	16.347	1.676	9.818	16.521	1.608	9.783	16.180	1.611	9.831	15.751	1.649	9.860	16.003	8.176	80.801
19/09/2025 09:59:09	1.656	9.763	15.758	1.620	9.806	16.438	1.653	9.798	16.339	1.572	9.828	15.770	1.608	9.862	16.592	8.109	80.897
19/09/2025 10:00:07	1.624	9.774	15.540	1.685	9.818	16.339	1.667	9.798	16.507	1.577	9.830	15.869	1.662	9.862	16.761	8.216	81.016
19/09/2025 10:01:00	1.659	9.744	15.725	1.603	9.826	16.175	1.669	9.798	16.097	1.651	9.828	15.812	1.626	9.862	16.487	8.208	80.296
19/09/2025 10:02:06	1.642	9.771	15.430	1.676	9.807	15.680	1.678	9.788	15.862	1.584	9.842	16.299	1.620	9.863	16.700	8.199	79.971
19/09/2025 10:03:09	1.591	9.749	15.420	1.660	9.811	16.291	1.690	9.783	15.963	1.566	9.835	15.409	1.659	9.863	16.132	8.166	79.215
19/09/2025 10:04:04	1.595	9.776	15.795	1.630	9.807	16.034	1.635	9.777	16.476	1.634	9.825	15.596	1.638	9.887	16.659	8.132	80.560
19/09/2025 10:05:02	1.623	9.742	16.340	1.670	9.829	15.796	1.603	9.764	15.775	1.629	9.836	16.300	1.676	9.865	16.152	8.201	80.363
19/09/2025 10:06:09	1.619	9.757	16.271	1.676	9.825	16.122	1.635	9.795	16.256	1.621	9.847	15.776	1.662	9.866	16.708	8.213	81.133
19/09/2025 10:07:02	1.654	9.768	15.911	1.692	9.831	16.413	1.666	9.775	15.642	1.611	9.811	15.902	1.685	9.863	16.612	8.308	80.480
19/09/2025 10:08:10	1.638	9.753	15.965	1.635	9.803	16.639	1.620	9.777	15.875	1.658	9.824	15.412	1.608	9.891	16.797	8.159	80.688
19/09/2025 10:09:06	1.619	9.755	15.405	1.667	9.799	16.052	1.680	9.798	16.220	1.573	9.843	15.615	1.626	9.873	16.641	8.164	79.933
19/09/2025 10:10:04	1.597	9.776	15.615	1.658	9.801	16.220	1.621	9.766	16.085	1.612	9.838	15.371	1.659	9.876	16.212	8.147	79.503
19/09/2025 10:11:08	1.602	9.753	15.424	1.651	9.802	16.529	1.600	9.801	16.122	1.617	9.845	15.468	1.691	9.881	15.924	8.160	79.468
19/09/2025 10:12:07	1.637	9.760	16.154	1.687	9.817	16.012	1.649	9.764	16.290	1.563	9.810	15.964	1.684	9.865	16.688	8.221	81.107
19/09/2025 10:13:03	1.622	9.738	15.545	1.598	9.835	15.820	1.671	9.802	15.864	1.602	9.843	16.095	1.671	9.891	16.385	8.164	79.708
19/09/2025 10:14:07	1.631	9.770	16.268	1.626	9.810	15.960	1.634	9.782	15.910	1.639	9.840	16.201	1.660	9.858	16.672	8.190	81.010
19/09/2025 10:15:03	1.597	9.762	16.043	1.652	9.834	16.577	1.673	9.768	16.313	1.608	9.841	15.582	1.666	9.870	16.201	8.196	80.716
19/09/2025 10:16:02	1.646	9.752	15.629	1.616	9.798	15.837	1.642	9.791	16.167	1.648	9.832	15.664	1.624	9.858	15.842	8.176	79.139
19/09/2025 10:17:09	1.665	9.737	15.557	1.689	9.833	16.007	1.616	9.800	15.644	1.625	9.810	15.900	1.662	9.884	15.866	8.257	78.974
19/09/2025 10:18:08	1.606	9.760	16.027	1.663	9.803	16.142	1.608	9.782	16.299	1.637	9.830	15.415	1.652	9.856	16.484	8.165	80.367
19/09/2025 10:19:07	1.629	9.737	16.300	1.646	9.833	16.525	1.670	9.792	16.249	1.641	9.824	16.138	1.641	9.874	15.928	8.227	81.140
19/09/2025 10:20:10	1.677	9.736	16.118	1.680	9.798	16.615	1.637	9.803	15.708	1.630	9.829	15.814	1.691	9.856	16.559	8.315	80.814
19/09/2025 10:21:09	1.613	9.761	15.748	1.643	9.834	16.104	1.690	9.774	16.376	1.636	9.838	16.296	1.685	9.870	16.233	8.267	80.757
19/09/2025 10:22:06	1.639	9.744	15.987	1.654	9.804	16.610	1.653	9.797	16.151	1.630	9.832	15.448	1.610	9.863	16.377	8.186	80.572
19/09/2025 10:23:04	1.589	9.744	15.710	1.598	9.808	15.839	1.633	9.776	15.834	1.616	9.820	15.464	1.701	9.888	16.615	8.137	79.462
19/09/2025 10:24:06	1.640	9.762	16.399	1.635	9.816	15.835	1.633	9.781	16.188	1.618	9.832	15.680	1.626	9.854	16.067	8.151	80.168
19/09/2025 10:25:00	1.589	9.738	16.148	1.612	9.811	16.627	1.612	9.775	16.224	1.580	9.811	15.538	1.624	9.878	16.226	8.016	80.764

19/09/2025 10:26:00	1.676	9.749	16.014	1.667	9.823	16.187	1.658	9.782	16.549	1.644	9.808	16.028	1.697	9.880	16.543	8.341	81.321				
19/09/2025 10:27:00	1.651	9.742	15.823	1.646	9.835	15.864	1.657	9.764	16.371	1.592	9.824	16.278	1.647	9.888	16.732	8.193	81.067				
19/09/2025 10:28:08	1.659	9.759	16.018	1.628	9.820	16.166	1.679	9.776	15.931	1.614	9.838	15.421	1.683	9.887	16.104	8.263	79.639				
19/09/2025 10:29:00	1.650	9.763	15.741	1.645	9.825	16.461	1.619	9.782	15.747	1.586	9.841	15.573	1.631	9.891	16.436	8.131	79.958				
19/09/2025 10:30:04	1.639	9.765	15.428	1.619	9.800	16.505	1.628	9.789	16.482	1.630	9.830	15.569	1.690	9.862	16.765	8.206	80.749				
19/09/2025 10:31:09	1.625	9.746	15.795	1.691	9.821	16.542	1.608	9.790	16.475	1.658	9.843	15.840	1.686	9.863	16.462	8.268	81.114				
19/09/2025 10:32:04	1.666	9.740	16.330	1.604	9.814	16.247	1.628	9.787	15.804	1.641	9.813	15.783	1.654	9.868	16.706	8.192	80.871				
19/09/2025 10:33:04	1.675	9.739	16.026	1.685	9.831	16.545	1.641	9.776	15.691	1.623	9.847	16.058	1.673	9.874	16.753	8.297	81.072				
19/09/2025 10:34:00	1.630	9.753	15.483	1.649	9.812	16.188	1.695	9.802	16.341	1.618	9.845	16.064	1.699	9.867	16.743	8.290	80.818				
19/09/2025 10:35:05	1.673	9.774	16.284	1.660	9.823	16.285	1.664	9.780	16.352	1.610	9.832	15.904	1.648	9.882	16.572	8.254	81.396				
19/09/2025 10:36:08	1.638	9.745	15.668	1.628	9.805	16.436	1.677	9.773	15.806	1.581	9.810	15.922	1.652	9.852	16.366	8.176	80.198				
19/09/2025 10:37:02	1.634	9.746	15.643	1.695	9.806	16.103	1.631	9.786	16.297	1.596	9.826	16.173	1.675	9.853	15.910	8.230	80.127				
19/09/2025 10:38:03	1.625	9.740	15.697	1.626	9.811	15.751	1.613	9.794	15.908	1.601	9.815	15.728	1.641	9.881	16.036	8.107	79.120				
19/09/2025 10:39:03	1.601	9.760	15.977	1.657	9.808	16.028	1.624	9.765	15.890	1.655	9.833	15.343	1.699	9.887	16.069	8.236	79.307				
19/09/2025 10:40:05	1.580	9.763	15.944	1.697	9.806	16.302	1.624	9.775	15.953	1.603	9.816	15.544	1.607	9.883	15.847	8.112	79.590				
19/09/2025 10:41:01	1.604	9.762	15.891	1.686	9.798	15.870	1.657	9.797	16.149	1.619	9.827	15.366	1.643	9.857	15.915	8.209	79.192				
19/09/2025 10:42:02	1.631	9.770	16.117	1.652	9.830	15.826	1.633	9.784	16.433	1.653	9.816	15.724	1.674	9.889	16.108	8.242	80.209				
19/09/2025 10:43:01	1.618	9.756	15.716	1.697	9.799	15.971	1.684	9.780	16.128	1.613	9.815	15.689	1.645	9.873	15.904	8.257	79.407				
19/09/2025 10:44:05	1.625	9.741	16.182	1.668	9.832	15.710	1.697	9.801	15.927	1.586	9.818	15.430	1.628	9.882	15.983	8.204	79.231				
19/09/2025 10:45:04	1.678	9.748	15.575	1.619	9.801	16.421	1.633	9.768	16.513	1.599	9.809	16.086	1.644	9.860	15.868	8.172	80.463				
19/09/2025 10:46:05	1.615	9.763	16.182	1.639	9.799	15.936	1.669	9.789	15.684	1.598	9.837	15.884	1.691	9.874	16.230	8.212	79.916				
19/09/2025 10:47:09	1.625	9.761	16.063	1.632	9.819	15.802	1.664	9.778	16.426	1.632	9.820	15.557	1.657	9.865	16.635	8.210	80.483				
19/09/2025 10:48:06	1.593	9.757	16.083	1.633	9.816	16.377	1.618	9.767	16.413	1.590	9.836	16.090	1.636	9.891	16.626	8.070	81.588				
19/09/2025 10:49:00	1.585	9.763	15.881	1.674	9.816	16.521	1.690	9.773	15.882	1.634	9.834	15.999	1.670	9.871	16.718	8.252	81.001				
19/09/2025 10:50:05	1.657	9.762	16.066	1.657	9.819	15.698	1.618	9.789	15.827	1.650	9.811	15.523	1.664	9.882	16.559	8.246	79.673				
19/09/2025 10:51:03	1.637	9.771	15.479	1.602	9.808	15.911	1.672	9.765	16.504	1.594	9.821	16.314	1.659	9.876	16.058	8.164	80.266				
19/09/2025 10:52:03	1.656	9.759	16.251	1.686	9.823	16.623	1.633	9.788	16.188	1.574	9.831	15.508	1.642	9.856	16.516	8.191	81.086				
19/09/2025 10:53:04	1.595	9.767	15.455	1.628	9.816	16.063	1.635	9.802	15.675	1.625	9.845	16.103	1.610	9.874	16.567	8.092	79.863				
19/09/2025 10:54:05	1.637	9.746	15.548	1.698	9.809	16.616	1.644	9.796	16.520	1.597	9.824	16.299	1.665	9.874	16.357	8.240	81.340				
19/09/2025 10:55:08	1.605	9.763	15.976	1.694	9.829	15.952	1.685	9.778	15.978	1.614	9.828	16.056	1.645	9.881	16.621	8.242	80.583				
19/09/2025 10:56:02	1.603	9.772	16.139	1.692	9.825	15.896	1.613	9.770	15.971	1.624	9.838	15.997	1.645	9.865	15.885	8.177	79.887				
19/09/2025 10:57:07	1.581	9.751	15.476	1.679	9.812	15.892	1.604	9.783	16.272	1.602	9.840	16.234	1.626	9.886	16.408	8.092	80.282				
19/09/2025 10:58:10	1.593	9.767	16.320	1.620	9.830	15.763	1.639	9.780	16.290	1.653	9.845	15.600	1.627	9.877	16.293	8.132	80.267				
19/09/2025 10:59:10	1.611	9.765	16.373	1.651	9.833	16.574	1.604	9.803	15.982	1.601	9.828	15.608	1.681	9.854	16.619	8.148	81.156				
19/09/2025 11:00:02	1.591	9.738	16.005	1.621	9.818	16.658	1.667	9.804	15.772	1.592	9.816	15.972	1.650	9.880	15.942	8.121	80.349				
19/09/2025 11:01:02	1.678	9.759	15.881	1.624	9.805	16.632	1.675	9.780	16.181	1.649	9.839	16.213	1.613	9.888	16.026	8.240	80.933				
19/09/2025 11:02:02	1.611	9.741	16.141	1.659	9.833	16.530	1.684	9.770	16.254	1.574	9.813	15.948	1.607	9.879	16.372	8.135	81.245				
19/09/2025 11:03:07	1.610	8	16.142	1.634	10.00	16.341	1.594	4	16.110	1.526	6	15.436	1.580	6	16.017	7.944	80.046				
19/09/2025 11:05:31	1.627	10.03	2	16.319	1.644	10.01	1.616	4	16.296	1.665	10.10	10.11	0	16.781	1.570	8	15.936	8.122	65.332		
19/09/2025 11:06:32	1.626	10.02	4	16.294	1.623	10.09	2	16.248	1.624	10.09	6	16.397	1.533	10.13	2	15.529	1.572	2	15.957	7.977	80.425
19/09/2025 11:07:33	1.622	10.04	0	16.284	1.764	10.10	9.972	17.587	1.592	4	16.087	1.508	6	15.281	1.569	0	15.945	8.055	81.183		
19/09/2025 11:08:33	1.609	10.06	0	16.185	1.644	10.02	0	16.470	1.594	10.10	4	16.108	1.515	10.13	6	15.357	1.604	2	16.282	7.966	80.401

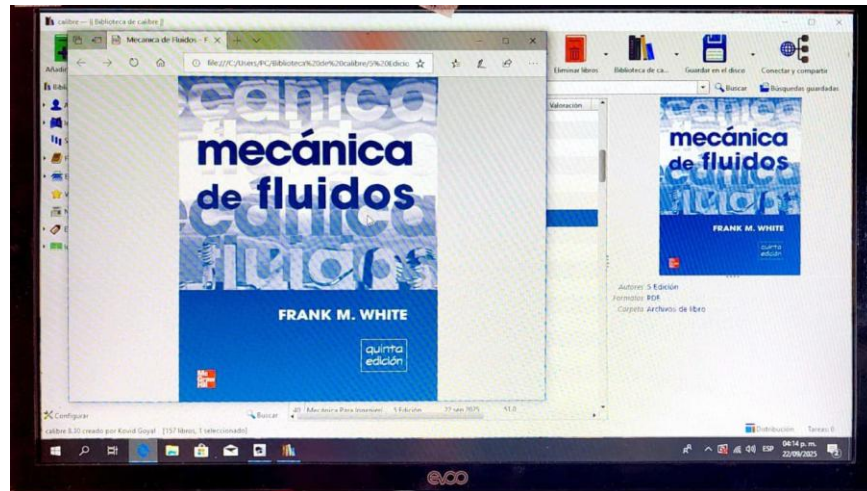
19/09/2025 11:09:35	1.611	10.02 4	16.148	1.703	9.976	16.986	1.659	10.08 4	16.724	1.505	10.14 0	15.256	1.565	10.17 2	15.923	8.042	81.037
19/09/2025 11:10:34	1.605	10.04 0	16.110	1.644	10.01 2	16.463	1.595	10.08 8	16.087	1.518	10.11 2	15.353	1.565	10.15 2	15.892	7.927	79.905
19/09/2025 11:11:36	1.608	10.04 0	16.144	1.794	9.960	17.868	1.589	10.09 2	16.035	1.618	10.11 2	16.356	1.569	10.14 4	15.911	8.177	82.315
19/09/2025 11:12:37	1.629	10.02 0	16.324	1.616	9.992	16.146	1.582	10.10 0	15.981	1.622	10.11 6	16.406	1.571	10.16 0	15.963	8.020	80.820
19/09/2025 11:13:41	1.605	10.02 8	16.095	1.649	9.996	16.486	1.597	10.08 0	16.102	1.606	10.10 8	16.232	1.598	10.14 4	16.210	8.056	81.126
19/09/2025 11:21:10	1.618	9.956	16.113	1.653	9.948	16.439	1.595	10.05 2	16.031	1.646	10.07 2	16.580	1.570	10.11 6	15.877	8.081	81.039
19/09/2025 11:22:09	1.635	9.952	16.273	1.675	9.964	16.689	1.589	10.03 6	15.949	1.621	10.06 0	16.305	1.607	10.09 2	16.213	8.127	81.429
19/09/2025 11:23:10	1.637	9.964	16.309	1.631	9.952	16.228	1.585	10.05 6	15.939	1.702	10.06 4	17.127	1.604	10.09 6	16.192	8.158	81.794
19/09/2025 11:24:12	1.639	9.908	16.237	1.671	9.884	16.512	1.580	10.00 4	15.810	1.550	10.02 0	15.528	1.587	10.06 4	15.971	8.026	80.058
19/09/2025 11:25:11	1.625	9.936	16.149	1.668	9.880	16.478	1.598	10.02 0	16.010	1.628	10.00 4	16.284	1.598	10.06 0	16.078	8.117	80.998
19/09/2025 11:30:10	1.631	9.952	16.234	1.599	9.984	15.963	1.579	10.04 0	15.850	1.506	10.06 4	15.152	1.577	10.08 4	15.903	7.891	79.102
19/09/2025 11:31:11	1.638	9.880	16.183	1.617	9.936	16.071	1.579	9.988	15.771	1.512	10.00 0	15.120	1.582	10.04 0	15.883	7.928	79.028
19/09/2025 11:55:55	1.601	10.10 4	16.178	0.001	1.072	-0.001	1.555	10.18 0	15.825	1.493	10.20 4	15.233	1.540	10.22 4	15.749	6.188	62.983
19/09/2025 11:56:56	1.633	10.13 2	16.544	1.136	1.554	1.554	6	10.23 6	15.908	1.488	10.24 0	15.233	1.542	10.27 2	15.834	6.216	63.519
19/09/2025 11:57:57	1.634	9.968	16.283	1.283	10.06 8	12.912	1.560	10.07 2	15.709	1.544	10.08 8	15.576	1.567	10.10 4	15.837	7.587	76.317
19/09/2025 11:58:57	1.725	9.888	17.057	1.693	9.948	16.837	1.603	10.00 8	16.047	1.509	10.05 2	15.168	1.580	10.07 6	15.915	8.109	81.023
19/09/2025 12:00:50	1.729	9.904	17.122	1.592	9.972	15.874	1.603	10.00 8	16.040	1.508	10.04 4	15.149	1.586	10.07 6	15.984	8.018	80.169
19/09/2025 12:01:54	1.704	9.840	16.765	1.653	9.856	16.291	1.633	9.912	16.183	1.532	9.992	15.310	1.707	9.996	17.061	8.228	81.611
19/09/2025 12:03:52	1.741	9.816	17.088	1.600	9.892	15.823	1.658	9.944	16.491	1.515	9.988	15.133	1.617	10.01 6	16.195	8.131	80.730
19/09/2025 12:04:58	1.741	9.824	17.099	1.617	9.896	16.001	1.595	9.960	15.887	1.524	10.00 0	15.240	1.584	10.00 8	15.855	8.061	80.081
19/09/2025 12:05:54	1.727	9.828	16.977	1.627	9.880	16.073	1.605	9.940	15.951	1.525	9.960	15.187	1.606	9.992	16.046	8.090	80.234
19/09/2025 12:06:55	1.747	9.760	17.050	1.755	9.840	17.269	1.622	9.928	16.098	1.529	9.964	15.235	1.588	10.01 2	15.899	8.240	81.551
19/09/2025 12:07:58	1.736	9.820	17.050	1.672	9.828	16.431	1.626	9.932	16.146	1.538	9.972	15.334	1.668	9.984	16.652	8.239	81.612
19/09/2025 12:08:56	1.655	9.876	16.344	1.619	9.896	16.019	1.608	9.984	16.054	1.514	10.01 6	15.159	1.604	10.05 2	16.118	7.999	79.694
19/09/2025 12:09:58	1.733	9.824	17.029	1.846	9.796	18.081	1.634	9.936	16.232	1.517	10.00 0	15.171	1.598	10.03 2	16.029	8.328	82.542
19/09/2025 12:10:58	1.746	9.832	17.164	1.647	9.840	16.208	1.627	9.952	16.190	1.536	9.992	15.349	1.593	10.03 2	15.978	8.149	80.889
19/09/2025 12:12:00	1.742	9.824	17.116	1.623	9.820	15.940	1.605	9.956	15.975	1.519	9.996	15.180	1.583	10.01 2	15.847	8.072	80.059
19/09/2025 12:13:00	1.673	9.856	16.486	1.616	9.860	15.938	1.607	9.972	16.026	1.525	10.00 8	15.258	1.578	10.03 2	15.828	7.999	79.536
19/09/2025 12:14:02	1.685	9.792	16.497	1.784	9.768	17.424	1.631	9.904	16.154	1.518	9.952	15.108	1.596	9.988	15.940	8.214	81.123
19/09/2025 12:15:03	1.656	9.848	16.303	1.627	9.860	16.042	1.609	9.948	16.008	1.534	9.984	15.317	1.581	10.02 0	15.839	8.007	79.509
19/09/2025 12:16:04	1.684	9.792	16.493	1.616	9.816	15.865	1.620	9.892	16.024	1.645	9.924	16.323	1.602	9.948	15.935	8.167	80.639
19/09/2025 12:31:01	1.655	9.764	16.160	1.612	9.740	15.697	1.628	9.868	16.066	1.538	9.912	15.241	1.614	9.940	16.038	8.046	79.202
19/09/2025 12:32:05	1.669	9.776	16.314	1.642	9.748	16.004	1.621	9.880	16.012	1.539	9.908	15.248	1.637	9.928	16.249	8.107	79.828
19/09/2025 12:33:03	1.653	9.776	16.157	1.611	9.780	15.752	1.627	9.864	16.049	1.534	9.920	15.218	1.616	9.932	16.051	8.041	79.227
19/09/2025 12:34:04	1.734	9.772	16.949	1.594	9.828	15.663	1.603	9.920	15.906	1.541	9.952	15.339	1.604	9.972	15.990	8.076	79.846
19/09/2025 12:35:07	1.732	9.792	16.960	1.596	9.836	15.701	1.599	9.920	15.857	1.526	9.960	15.195	1.596	9.992	15.946	8.048	79.659
19/09/2025 12:36:06	1.649	9.832	16.215	1.628	9.804	15.963	1.602	9.936	15.921	1.557	9.948	15.485	1.655	9.956	16.481	8.092	80.065
19/09/2025 12:37:06	1.640	9.836	16.126	1.593	9.796	15.600	1.592	9.944	15.830	1.523	9.976	15.191	1.631	9.992	16.295	7.977	79.042

19/09/2025 12:38:07	1.663	9.820	16.334	1.599	9.788	15.653	1.613	9.924	16.004	1.532	9.968	15.267	1.670	9.960	16.631	8.077	79.889	
19/09/2025 12:39:08	1.641	9.840	16.151	1.606	9.828	15.787	1.637	9.932	16.260	1.553	9.968	15.482	1.589	9.996	15.886	8.027	79.566	
19/09/2025 12:40:10	1.654	9.844	16.286	1.600	9.812	15.696	1.600	9.940	15.908	1.542	9.936	15.319	1.794	9.924	17.803	8.190	81.012	
19/09/2025 12:41:11	1.646	9.836	16.187	1.588	9.796	15.560	1.609	9.940	15.996	1.535	9.984	15.323	1.598	10.00	15.981	7.976	79.048	
19/09/2025 12:42:11	1.692	9.776	16.543	1.621	9.512	15.422	1.628	9.900	16.114	1.528	9.936	15.179	1.617	9.956	16.103	8.086	79.361	
19/09/2025 12:43:12	1.649	9.792	16.150	1.601	9.612	15.392	1.625	9.892	16.074	1.528	9.940	15.184	1.599	9.976	15.952	8.002	78.751	
19/09/2025 12:44:14	1.661	9.836	16.342	1.633	9.720	15.869	1.598	9.932	15.874	1.521	9.972	15.167	1.593	10.00	15.926	8.006	79.178	
19/09/2025 12:49:48	1.654	9.804	16.212	1.616	9.756	15.765	1.590	9.924	15.774	1.554	9.936	15.441	1.585	9.976	15.809	7.998	79.000	
19/09/2025 12:50:48	1.676	9.792	16.408	1.638	9.756	15.977	1.646	9.900	16.294	1.544	9.940	15.343	1.629	9.964	16.227	8.131	80.250	
19/09/2025 12:51:49	1.662	9.804	16.297	1.643	9.744	16.012	1.633	9.912	16.182	1.529	9.940	15.193	1.653	9.952	16.451	8.120	80.136	
19/09/2025 12:52:51	1.673	9.804	16.401	1.634	9.720	15.885	1.614	9.912	15.998	1.547	9.920	15.345	1.602	9.972	15.974	8.070	79.604	
19/09/2025 12:53:49	1.821	9.772	17.796	1.622	9.700	15.735	1.616	9.896	15.990	1.534	9.936	15.242	1.610	9.956	16.025	8.203	80.788	
19/09/2025 12:54:51	1.640	9.828	16.122	1.638	9.732	15.944	1.603	9.912	15.888	1.645	9.904	16.292	1.602	9.964	15.966	8.129	80.212	
19/09/2025 12:55:52	1.637	9.772	15.995	1.671	9.680	16.176	1.620	9.852	15.955	1.537	9.896	15.209	1.593	9.924	15.809	8.057	79.145	
19/09/2025 12:56:53	1.645	9.780	16.085	1.618	9.688	15.672	1.622	9.876	16.019	1.544	9.888	15.269	1.624	9.916	16.103	8.053	79.148	
19/09/2025 12:57:54	1.675	9.756	16.336	1.671	9.652	16.128	1.612	9.844	15.866	1.556	9.884	15.381	1.631	9.908	16.160	8.144	79.870	
19/09/2025 12:58:54	1.641	9.772	16.033	1.633	9.700	15.835	1.682	9.844	16.560	1.531	9.892	15.148	1.636	9.916	16.222	8.123	79.797	
19/09/2025 12:59:55	1.666	9.752	16.244	1.695	9.608	16.287	1.612	9.848	15.873	1.540	9.888	15.232	1.599	9.932	15.880	8.112	79.515	
19/09/2025 13:00:56	1.644	9.748	16.028	1.628	9.640	15.698	1.635	9.836	16.084	1.585	9.888	15.671	1.602	9.916	15.882	8.094	79.361	
19/09/2025 13:02:00	1.649	9.760	16.095	1.626	9.624	15.647	1.676	9.836	16.486	1.555	9.876	15.357	1.674	9.896	16.563	8.180	80.148	
19/09/2025 13:02:59	1.645	9.740	16.017	1.627	9.636	15.682	1.661	9.856	16.373	1.565	9.876	15.452	1.610	9.916	15.962	8.107	79.486	
19/09/2025 13:04:15	1.628	9.764	15.893	1.645	9.724	15.999	1.614	9.812	15.833	1.567	9.876	15.480	1.603	9.924	15.905	8.057	79.109	
19/09/2025 13:18:44	1.619	9.788	15.847	1.662	9.664	16.061	1.631	9.824	16.022	1.543	9.848	15.198	1.604	9.888	15.859	6.440	63.140	
19/09/2025 13:19:40	1.608	9.812	15.778	1.669	9.648	16.104	1.645	9.792	16.105	1.546	9.836	15.202	1.619	9.876	15.990	6.479	63.401	
19/09/2025 13:20:41	1.597	9.836	15.708	1.660	9.648	16.014	1.728	9.732	16.820	1.760	9.780	17.214	1.630	9.864	16.080	6.778	66.128	
19/09/2025 13:21:42	1.586	9.860	15.638	1.652	9.636	15.918	1.629	9.796	15.953	1.715	9.800	16.804	1.646	9.852	16.214	6.641	64.889	
19/09/2025 13:22:43	1.576	9.852	15.529	1.623	9.644	15.656	1.653	9.776	16.162	1.584	9.832	15.572	1.620	9.872	15.989	6.480	63.378	
19/09/2025 13:23:44	1.566	9.864	15.442	1.648	9.672	15.939	1.651	9.788	16.161	1.558	9.856	15.352	1.643	9.828	16.145	6.499	63.596	
19/09/2025 13:29:01	1.702	9.876	16.811	0.004	10.45	0.039	1.600	10.21	16.342	1.489	10.24	15.257	0.207	10.49	2	2.170	3.300	33.808
19/09/2025 13:30:02	1.652	9.888	16.338	0.005	10.32	0.048	1.595	10.05	16.040	1.560	10.08	15.724				4.812	48.150	
19/09/2025 13:31:02	1.602	9.900	15.864	0.004	10.27	0.040	1.576	10.05	15.850	1.564	10.04	15.701	1.860	10.05	6	18.703	6.606	66.158
19/09/2025 13:32:04	1.618	9.848	15.935	1.481	9.908	14.678	1.627	9.908	16.118	1.545	9.940	15.361	1.641	9.940	16.309	7.912	78.401	
19/09/2025 13:33:06	1.741	9.752	16.979	1.611	9.836	15.845	1.676	9.848	16.509	1.566	9.912	15.519	1.688	9.900	16.706	8.282	81.559	
19/09/2025 13:34:05	1.660	9.700	16.102	1.598	9.784	15.633	1.636	9.836	16.090	1.676	9.828	16.476	1.675	9.616	16.109	8.245	80.409	
19/09/2025 13:35:06	1.651	9.720	16.043	1.599	9.820	15.702	1.608	9.852	15.837	1.612	9.856	15.883	1.769	9.748	17.241	8.237	80.706	
19/09/2025 13:36:09	1.716	9.692	16.633	1.600	9.776	15.645	1.772	9.792	17.347	1.730	9.808	16.967	1.659	9.808	16.269	8.477	82.860	
19/09/2025 13:37:08	1.752	9.656	16.917	1.632	9.764	15.936	1.635	9.808	16.031	1.555	9.864	15.340	1.660	9.800	16.270	8.234	80.494	
19/09/2025 13:38:10	1.672	9.716	16.246	1.591	9.592	15.264	1.626	9.820	15.964	1.674	9.832	16.462	1.654	9.836	16.267	8.217	80.203	
19/09/2025 13:39:16	1.690	9.704	16.401	1.595	9.644	15.381	1.622	9.848	15.970	1.621	9.804	15.896	1.644	9.808	16.122	8.172	79.770	
19/09/2025 13:40:15	1.693	9.676	16.380	1.598	9.704	15.503	1.761	9.780	17.218	1.569	9.848	15.452	1.710	9.752	16.671	8.329	81.223	
19/09/2025 13:41:15	1.823	9.624	17.543	1.592	9.612	15.303	1.650	9.824	16.212	1.556	9.864	15.351	1.766	9.752	17.219	8.387	81.628	
19/09/2025 13:42:15	1.671	9.704	16.211	1.590	9.732	15.475	1.636	9.824	16.072	1.552	9.856	15.292	1.700	9.812	16.677	8.148	79.726	
19/09/2025 13:43:16	1.670	9.584	16.009	1.594	9.696	15.459	1.611	9.812	15.804	1.582	9.848	15.581	1.738	9.756	16.955	8.196	79.808	

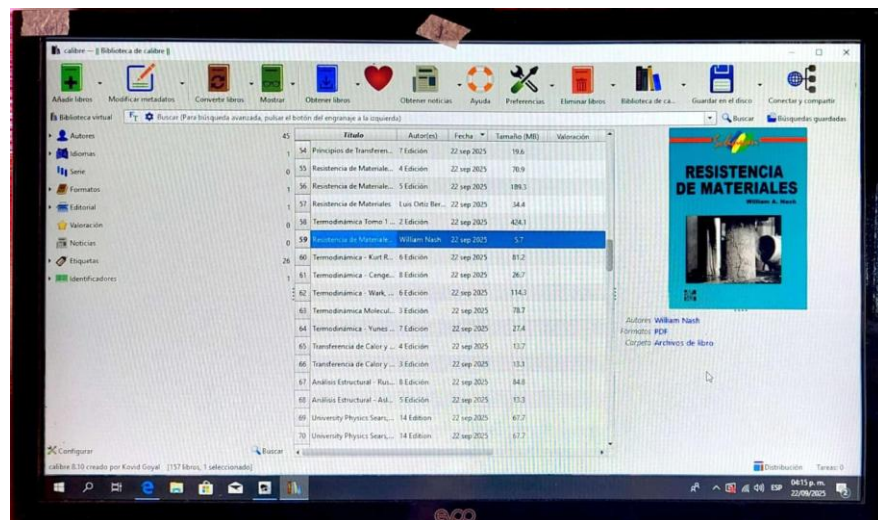
19/09/2025 13:44:17	1.658	9.732	16.140	1.609	9.656	15.535	1.615	9.844	15.901	1.569	9.852	15.454	1.753	9.764	17.113	8.204	80.142
19/09/2025 13:45:19	1.666	9.684	16.137	1.661	9.600	15.949	1.607	9.828	15.791	1.584	9.836	15.577	1.685	9.768	16.462	8.203	79.916
19/09/2025 13:46:20	1.652	9.680	15.995	1.645	9.552	15.711	1.640	9.792	16.058	1.557	9.848	15.328	1.779	9.708	17.273	8.273	80.366
19/09/2025 13:47:20	1.668	9.716	16.206	1.621	9.588	15.542	1.641	9.816	16.106	1.555	9.852	15.324	1.697	9.784	16.607	8.183	79.786
19/09/2025 13:48:21	1.693	9.704	16.433	1.628	9.568	15.576	1.621	9.828	15.928	1.586	9.824	15.577	1.689	9.788	16.536	8.217	80.050
19/09/2025 13:49:22	1.654	9.720	16.073	1.625	9.548	15.517	1.650	9.812	16.193	1.568	9.844	15.437	1.677	9.820	16.472	8.175	79.693
19/09/2025 13:53:40	1.661	9.744	16.182	1.640	9.676	15.872	1.639	9.816	16.085	1.550	9.856	15.274	1.697	9.764	16.569	8.186	79.980
19/09/2025 13:54:40	1.655	9.724	16.088	1.849	9.592	17.736	1.652	9.820	16.227	1.576	9.848	15.523	1.659	9.748	16.176	8.392	81.750
19/09/2025 13:55:41	1.651	9.748	16.089	1.673	9.660	16.161	1.634	9.836	16.075	1.619	9.836	15.926	1.659	9.736	16.155	8.236	80.406
19/09/2025 13:56:41	1.682	9.744	16.385	1.633	9.684	15.815	1.653	9.820	16.228	1.567	9.856	15.448	1.650	9.756	16.096	8.184	79.972
19/09/2025 13:57:43	1.684	9.728	16.382	1.653	9.660	15.968	1.631	9.836	16.045	1.548	9.844	15.241	1.662	9.828	16.330	8.178	79.965
19/09/2025 13:58:44	1.637	9.756	15.970	1.638	9.680	15.851	1.629	9.848	16.042	1.602	9.836	15.757	1.773	9.760	17.302	8.278	80.922
19/09/2025 13:59:44	1.703	9.700	16.522	1.638	9.700	15.889	1.653	9.816	16.225	1.557	9.856	15.341	1.677	9.744	16.337	8.227	80.313
19/09/2025 14:00:05	1.588	9.751	15.416	1.650	9.836	16.480	1.628	9.802	16.336	1.645	9.824	15.937	1.684	9.861	16.512	8.196	80.681
19/09/2025 14:01:09	1.659	9.773	15.574	1.616	9.818	16.239	1.658	9.787	16.082	1.643	9.838	15.556	1.620	9.865	16.164	8.195	79.614
19/09/2025 14:02:01	1.663	9.740	15.888	1.600	9.813	15.742	1.683	9.774	16.440	1.583	9.829	15.343	1.615	9.873	16.480	8.145	79.892
19/09/2025 14:03:06	1.596	9.751	16.222	1.634	9.832	16.371	1.637	9.776	16.537	1.610	9.845	16.055	1.629	9.860	16.242	8.105	81.427
19/09/2025 14:04:10	1.665	9.764	15.678	1.690	9.805	15.738	1.690	9.803	16.591	1.652	9.821	16.028	1.631	9.885	16.379	8.327	80.414
19/09/2025 14:05:02	1.648	9.745	15.922	1.698	9.800	16.495	1.623	9.789	15.728	1.637	9.823	15.560	1.699	9.859	16.361	8.305	80.066
19/09/2025 14:06:02	1.632	9.762	15.744	1.693	9.821	15.721	1.668	9.781	16.509	1.561	9.847	15.664	1.681	9.864	15.982	8.234	79.619
19/09/2025 14:07:08	1.663	9.743	15.504	1.671	9.800	15.815	1.672	9.784	15.854	1.607	9.838	16.229	1.609	9.875	16.660	8.221	80.062
19/09/2025 14:08:00	1.622	9.738	16.358	1.654	9.811	15.953	1.626	9.768	16.026	1.562	9.839	15.488	1.681	9.857	16.681	8.144	80.505
19/09/2025 14:09:10	1.599	9.741	16.254	1.657	9.813	16.311	1.601	9.767	15.974	1.589	9.820	16.166	1.620	9.877	16.017	8.066	80.723
19/09/2025 14:10:10	1.608	9.773	15.478	1.652	9.818	16.654	1.635	9.788	16.304	1.604	9.829	15.500	1.638	9.890	16.230	8.138	80.166
19/09/2025 14:11:03	1.630	9.758	16.119	1.669	9.836	15.796	1.603	9.785	16.227	1.650	9.821	15.813	1.634	9.880	16.278	8.187	80.233
19/09/2025 14:12:05	1.633	9.768	15.747	1.640	9.805	15.820	1.689	9.778	15.738	1.626	9.818	15.830	1.630	9.885	16.362	8.217	79.498
19/09/2025 14:13:03	1.660	9.749	16.394	1.665	9.811	16.047	1.694	9.787	16.412	1.597	9.829	15.803	1.633	9.870	15.836	8.250	80.491
19/09/2025 14:14:10	1.659	9.760	15.702	1.610	9.801	16.514	1.672	9.767	16.069	1.610	9.848	15.619	1.678	9.867	16.572	8.229	80.475
19/09/2025 14:15:08	1.638	9.756	15.638	1.625	9.820	16.145	1.671	9.802	15.631	1.643	9.817	15.584	1.629	9.865	16.676	8.205	79.674
19/09/2025 14:16:09	1.658	9.774	15.967	1.682	9.825	15.999	1.623	9.776	16.043	1.591	9.818	16.064	1.683	9.878	15.956	8.236	80.030
19/09/2025 14:17:05	1.599	9.766	16.235	1.689	9.815	16.239	1.606	9.767	16.145	1.622	9.818	15.607	1.612	9.873	16.710	8.127	80.935
19/09/2025 14:18:04	1.585	9.765	15.592	1.652	9.806	15.938	1.679	9.771	15.698	1.587	9.840	15.941	1.662	9.871	16.664	8.164	79.833
19/09/2025 14:19:02	1.667	9.738	16.109	1.601	9.821	16.079	1.654	9.768	15.780	1.609	9.828	16.178	1.689	9.856	16.356	8.220	80.501
19/09/2025 14:20:04	1.587	9.758	15.461	1.691	9.818	16.010	1.667	9.771	16.623	1.563	9.823	16.168	1.610	9.879	16.088	8.119	80.350
19/09/2025 14:21:09	1.604	9.755	16.318	1.668	9.803	16.482	1.677	9.781	16.500	1.646	9.842	15.498	1.666	9.881	16.021	8.261	80.819
19/09/2025 14:22:02	1.649	9.773	15.481	1.640	9.812	16.602	1.639	9.794	15.762	1.566	9.820	15.986	1.654	9.860	16.303	8.147	80.133
19/09/2025 14:23:09	1.621	9.746	16.314	1.658	9.813	16.437	1.613	9.775	16.209	1.583	9.824	15.933	1.636	9.882	16.321	8.110	81.214
19/09/2025 14:24:09	1.667	9.747	15.890	1.641	9.835	16.117	1.678	9.781	16.008	1.594	9.811	15.613	1.613	9.887	16.465	8.193	80.093
19/09/2025 14:25:06	1.610	9.753	15.848	1.645	9.830	16.182	1.644	9.801	16.173	1.623	9.813	15.722	1.670	9.859	16.615	8.191	80.540
19/09/2025 14:26:07	1.581	9.746	16.373	1.687	9.825	15.803	1.681	9.776	16.099	1.633	9.814	15.616	1.633	9.870	16.748	8.215	80.639
19/09/2025 14:27:06	1.610	9.741	16.390	1.614	9.832	16.425	1.642	9.796	15.677	1.569	9.822	15.868	1.636	9.887	16.610	8.072	80.969
19/09/2025 14:28:06	1.638	9.770	16.050	1.609	9.825	16.274	1.620	9.770	15.944	1.565	9.829	16.135	1.674	9.872	16.723	8.106	81.125
19/09/2025 14:29:04	1.617	9.758	15.527	1.598	9.832	16.580	1.616	9.771	15.754	1.641	9.808	16.208	1.697	9.885	16.313	8.169	80.382

19/09/2025 14:30:07	1.633	9.771	15.906	1.630	9.798	15.878	1.673	9.782	16.118	1.632	9.816	16.054	1.636	9.861	15.852	8.204	79.808
19/09/2025 14:31:03	1.667	9.769	15.929	1.613	9.814	16.437	1.656	9.773	16.536	1.644	9.815	15.814	1.677	9.855	15.865	8.257	80.582
19/09/2025 14:32:00	1.671	9.747	15.914	1.620	9.826	16.362	1.639	9.800	16.624	1.629	9.818	16.289	1.698	9.854	16.082	8.257	81.272

Anexos XXI *Instalación de Software Básico y Creación de Biblioteca Digital de Libros Educativos preinstalado para acceder sin internet*



Anexos XXII *Variedad de libros preinstalados*



Anexos XXIII Código para el Registro de Datos en Google Sheets desde el ESP32

```
function getOrCreateSheet_(dispositivo) {
  // Accede a la hoja activa de Google Sheets
  const ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();

  // Usa el nombre del dispositivo como nombre de la hoja (por ejemplo,
  "ESP32_1")
  let sheetName = dispositivo;
  let sh = ss.getSheetByName(sheetName);

  // Si la hoja no existe, la crea
  if (!sh) {
    sh = ss.insertSheet(sheetName);

    // Agregar encabezados de columna (ajusta estos según tus necesidades)
    const headers = [
      "Fecha y Hora",
      "Corriente 1 (A)", "Voltaje 1 (V)", "Potencia 1 (W)",
      "Corriente 2 (A)", "Voltaje 2 (V)", "Potencia 2 (W)",
      "Corriente 3 (A)", "Voltaje 3 (V)", "Potencia 3 (W)",
      "Corriente 4 (A)", "Voltaje 4 (V)", "Potencia 4 (W)",
      "Corriente 5 (A)", "Voltaje 5 (V)", "Potencia 5 (W)",
      "Corriente Total (A)", "Potencia Total (W)"
    ];
    sh.appendRow(headers); // Agregar los encabezados en la primera fila
  }

  return sh;
}

function doPost(e) {
  try {
    // Parsear el JSON recibido desde el ESP32
    const data = JSON.parse(e.postData.contents);

    // Obtener el nombre del dispositivo desde el JSON (puede ser ESP32_1,
    ESP32_2, etc.)
    const dispositivo = data.dispositivo || "ESP32"; // Si no se especifica,
    por defecto "ESP32"

    // Obtener o crear la hoja correspondiente al dispositivo (ESP32_1, ESP32_2,
    etc.)
    const sh = getOrCreateSheet_(dispositivo);

    // Crear la fila con la fecha y hora, y los datos del dispositivo
    const row = [new Date()]; // Fecha y hora de la medición
```

```

// Para los sensores 1 a 5
for (let i = 1; i <= 5; i++) {
  row.push(
    data["corriente" + i] || "", // Corriente del sensor i
    data["voltaje" + i] || "", // Voltaje del sensor i
    data["potencia" + i] || "" // Potencia del sensor i
  );
}

// Agregar los totales (corrienteTotal y potenciaTotal)
row.push(
  data.corrienteTotal || "", // Corriente total
  data.potenciaTotal || "" // Potencia total
);

// Añadir la fila con los datos del dispositivo a la hoja correspondiente
sh.appendRow(row);

// Responder al ESP32 que los datos fueron recibidos correctamente
return ContentService.createTextOutput("☑ Datos recibidos correctamente")
  .setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);

} catch (err) {
  // En caso de error, devolver un mensaje de error
  return ContentService.createTextOutput("☒ Error: " + err)
    .setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
}
}

```

Anexos XXIV Código para el Registro y Envío de Datos de Sensores de Corriente y Potencia a Google Sheets desde el Dispositivo ESP32

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>

// 📶 WiFi
const char* ssid = "*****"; // Nombre de la red WiFi
const char* password = "*****"; // Contraseña de la red WiFi

// 🌐 URL de Google Apps Script (web app desplegada como "Anyone")
const char* googleScriptUrl = "https://script.google..... "; // URL de
Google Apps Script

```

```

// 🌀 Dirección I2C del multiplexor TCA9548A
#define TCA_ADDR 0x70

Adafruit_INA219 ina219; // Objeto para el sensor INA219

unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long interval = 60000; // 1 minuto (60,000 milisegundos)
const unsigned long sensorReadDelay = 500; // 500 ms entre lecturas para
evitar sobrecarga

// Función para seleccionar el canal del multiplexor
void selectMuxChannel(uint8_t channel) {
    Wire.beginTransmission(TCA_ADDR);
    Wire.write(1 << channel); // Habilita solo el canal seleccionado
    byte error = Wire.endTransmission();

    if (error != 0) {
        Serial.print("Error al habilitar el canal ");
        Serial.println(channel);
    }

    delay(100); // Da tiempo al multiplexor para cambiar el canal
}

// Función para conectar al WiFi
void connectWiFi() {
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("Conectando WiFi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\n📶 WiFi conectado: " + WiFi.localIP().toString());
}

// Función para enviar los datos a Google Sheets
void sendToGoogleSheets(float corrientes[], float voltajes[], float
potencias[], float corrienteTotal, float potenciaTotal) {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        http.begin(googleScriptUrl); // URL de Google Apps Script
        http.addHeader("Content-Type", "application/json");

        // Crear el JSON con los nombres de los campos y los valores
        correspondientes

```

```

String jsonData = "{";
    jsonData += "\"dispositivo\": \"ESP32_1\", "; // Identificador único para
este ESP32
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        jsonData += "\"corriente" + String(i + 1) + "\": " +
String(corrientes[i], 4) + ",";
        jsonData += "\"voltaje" + String(i + 1) + "\": " + String(voltajes[i],
3) + ",";
        jsonData += "\"potencia" + String(i + 1) + "\": " +
String(potencias[i], 4) + ",";
    }
    jsonData += "\"corrienteTotal\": " + String(corrienteTotal, 4) + ",";
    jsonData += "\"potenciaTotal\": " + String(potenciaTotal, 4) + "}";

    Serial.println("\n📩 Enviando JSON:");
    Serial.println(jsonData); // Agregar este log para verificar el
contenido del JSON

    int httpResponseCode = http.POST(jsonData);
    if (httpResponseCode > 0) {
        Serial.println("✅ Datos enviados: " + http.getString());
    } else {
        Serial.printf("❌ Error HTTP: %d\n", httpResponseCode);
        String errorMessage = http.errorToString(httpResponseCode);
        Serial.println("Error: " + errorMessage); // Log del mensaje de error
detallado
    }
    http.end();
}
}

// Función para leer los sensores
bool readSensors(float corrientes[], float voltajes[], float potencias[],
float &corrienteTotal, float &potenciaTotal) {
    bool success = true;
    corrienteTotal = 0;
    potenciaTotal = 0;

    for (uint8_t i = 0; i < 5; i++) {
        selectMuxChannel(i + 3); // Seleccionar el canal adecuado (3-7)

        delay(sensorReadDelay);

        if (!ina219.begin()) {

```

```

        Serial.printf("✘ INA219 #%d no detectado. Intentando
reiniciar...\n", i + 1);
        ina219.begin(); // Reintentar inicializar el sensor
        success = false;
        continue;
    }

    delay(20);
    corrientes[i] = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0; // Convertir a amperios
    voltajes[i] = ina219.getBusVoltage_V(); // Obtener el voltaje
    potencias[i] = voltajes[i] * corrientes[i]; // Calcular la potencia (P =
V * I)

    corrienteTotal += corrientes[i];
    potenciaTotal += potencias[i];

    // Mostrar los datos en consola para verificar
    Serial.printf("Sensor %d: I = %.4f A, V = %.3f V, P = %.4f W\n", i + 1,
corrientes[i], voltajes[i], potencias[i]);
}

return success;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Wire.begin(21, 22); // Pines SDA y SCL para ESP32
    connectWiFi();
}

void loop() {
    float corrientes[5];
    float voltajes[5];
    float potencias[5];
    float corrienteTotal = 0;
    float potenciaTotal = 0;

    // Leer los sensores y manejar el error
    bool success = readSensors(corrientes, voltajes, potencias,
corrienteTotal, potenciaTotal);

    if (!success) {
        Serial.println("✘ Error al leer los sensores, se intentará
nuevamente.");
    }
}

```

```

// Mostrar los totales
Serial.printf("👉 Total Corriente: %.4f A | Total Potencia: %.4f W\n",
corrienteTotal, potenciaTotal);

// Enviar a Google Sheets cada 1 minuto
unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - lastSendTime >= interval) {
    lastSendTime = currentMillis;
    sendToGoogleSheets(corrientes, voltajes, potencias, corrienteTotal,
potenciaTotal);
}

delay(1000); // Tiempo entre cada ciclo
}

```

Anexos XXV Datasheet del interruptor termomagnético

Norma		IEC 60898-2			
		1P	2P	3P	4P
Número de polos		250	500	750	1000
Tensión nominal de trabajo (V CC)		250	500	750	1000
Nivel de bastidor		63A			
Corriente nominal (In) (A)		6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63			
Tensión nominal de aislamiento Ui (V CC)		1000/1200			
Características de disparo		C			
Tipo de disparo		Termomagnético			
Capacidad nominal de ruptura en cortocircuito (Icu)		6kA			
Capacidad nominal de interrupción en cortocircuito de servicio (Ics)		6kA			
Vida mecánica (veces)	Real	20000 veces			
	Estándar	9700 veces			
Vida eléctrica (veces)	Real	Promedio 1000 veces			
	Estándar	300 veces			
Categoría de sobretensión		III			
Grado de contaminación		2			
Grado de protección		IP20			
Humedad relativa		≤95%			
Vibración		Acc.to IEC60068-2-6			
Choques		Acc.to IEC60068-2-27			
Capacidad del terminal		2,5-35 mm ²			
Par de apriete de los terminales		2,0-2,5 N·m			
Temperatura ambiente		-5 °C ~ +40 °C			
Temperatura de almacenamiento		-25 °C ~ +75 °C			
Método de instalación		DIN 35 mm			
Elevación		≤2000m			

