

SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED

por ALEX PACORICONA APAZA

Fecha de entrega: 28-may-2025 10:26a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2686887224

Nombre del archivo: T036_43140502_M.docx (36.83M)

Total de palabras: 26296

Total de caracteres: 149331

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MECÁNICA ELÉCTRICA
MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO



**SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO
EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO
AISLADO DE LA RED**

TESIS PRESENTADA POR:
ALEX PACORICONA APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

JULIACA - PERÚ
2024

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN MECÁNICA ELÉCTRICA

MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

**SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO
EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO
AISLADO DE LA RED**

TESIS PRESENTADA POR:

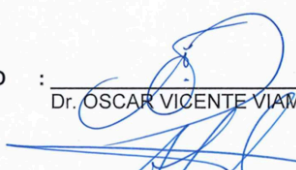
ALEX PACORICONA APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA


MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO : 
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO : 
Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : 
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

ASESOR DE TESIS : 
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 467-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 27 de noviembre del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-012667, presentado por el (la) Bachiller **PACORICONA APAZA ALEX**, con número de DNI. **43140502**, asignado (a) con código de matrícula **1610100562**, de la **Maestría en INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, Mención: SISTEMAS ENERGETICOS Y MANTENIMIENTO**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach. **PACORICONA APAZA ALEX**, con número de DNI. **43140502**, asignado (a) con código de matrícula **1610100562**, de la **Maestría en INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, Mención: SISTEMAS ENERGETICOS Y MANTENIMIENTO**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 09 de octubre del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establezca que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulada: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED** Elaborado por el (la) Bachiller **PACORICONA APAZA ALEX**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Miembro del Jurado	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES
Miembro del Jurado	:	Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Asesor de Tesis	:	Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Miércoles 04 de diciembre del 2024
Hora	:	11:00 a.m.
Lugar	:	Aula N° 310 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron después a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.


Dr. Leopoldo Monestelo Quintal Chua
DIRECTOR (a)

Cc./Avan: EPG (01)
Interesado (01)
Cesar (01)
Juliaca (01)
Asesor (01)
Expediente (01)
LVOC/Rev



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°1079-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 05 de Agosto del 2024

VISTOS:

El expediente N°. **08288**, Presentado por el (a) **Bach. ALEX PACORICONA APAZA**, con número de DNI **43140502** y con Código de matrícula N.° **1610100562**, quien solicita cambio del presidente, segundo miembro del jurado y asesor del Proyecto de Tesis titulado: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED** Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52**, Para optar el Grado Académico de **MAESTRO** en **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** mención **SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) **Bach. ALEX PACORICONA APAZA**, quien solicita cambio del presidente, segundo miembro del jurado y asesor, aprobado con Resolución Directoral N° 0574-2022-USA-EPG/UANCV, de fecha 14 de octubre del 2022, en el que se le asignó como presidente al Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cárdenas, el mismo que se cambia por indisponibilidad de tiempo, segundo miembro al Mgtr. Roberto Jaime Quiroz Sosa, el mismo que se cambia por no tener vínculo laboral con UANCV y asesor al Mgtr. Giovanni José Huacasi Supo, el mismo que se cambia por indisponibilidad de tiempo.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 28 de setiembre del 2022, registrado en el Folio N° 3375 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL PRESIDENTE, SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO Y ASESOR para su revisión y asesor de la Tesis titulada: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED** presentado por el (a) **Bach. ALEX PACORICONA APAZA**, conformado por los siguientes docentes:

Presidente	: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Primer Miembro	: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
Segundo Miembro	: Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Asesor	: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

SEGUNDO.- AUTORIZAR el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **MAESTRO** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

TERCERO.- ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese,



Cc: CARGO (01)
ARCHIVO EPG - 2024 (01)
INTERESADO (01)
LWCCWVRCH



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCION DIRECTORAL N° 0574-2022-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 14 de octubre del 2022.

VISTOS:

El expediente N° 040585, de fecha 28 de setiembre del 2020, presentado por el (la) Bachiller **PACORICONA APAZA ALEX**, con DNI N° 43140502, código de matrícula 1610100562, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52**, para optar el grado de **MAESTRO** en: **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** mención: **SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez **Sede Central Juliaca**.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que, en el **Art. 60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que, mediante oficio circular N° 034-2022-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 01 de setiembre de 2022, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente : **Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
Primer miembro : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**
Segundo miembro : **Mgr. ROBERTO JAIME QUIROZ SOSA**

Que, con registro N° 3375, de fecha 28 de setiembre del 2022, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED**, presentado por el (la) Bachiller **PACORICONA APAZA ALEX**, cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de maestría y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED**, presentado por el (la) Bachiller **PACORICONA APAZA ALEX**, para obtener el grado académico de **MAESTRO** en: **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** mención: **SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO** de la UANCV, asesorado por el (la) **Mgr. GIOANNI JOSÉ HUACASI SUPO**.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

447/CARGO (B)
ARCHIVO EPG 2022 (B1)
INTERESADO (B1)
MCCC/mepg




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
[Firma]
Dra. Graciela Bernal Salas
DIRECTORA (B)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
[Firma]
Dra. Graciela Bernal Salas
SECRETARIA ACADEMICA

Metadatos complementarios - UANCV

TITULO	
SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	ALEX PACORICONA APAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43140502
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2409-5545
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8660-8733
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-6613-6925
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024

Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9858-2464
Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: REGIÓN DE PUNO País: Perú Departamento: Puno -14.66282, -70.02993 https://maps.app.goo.gl/EhzZ3YFKKkQCinyc9</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022 - 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00 Mecánica aplicada https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02</p>
- Librería	


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL PUNO
ESCUELA DE POSTGRADO
Dr. Jesús Mamani Mamani
DIRECTOR
DE INVESTIGACIÓN - EPG



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ALEX PACORICONA APAZA, identificado con DNI
Nro. 43140502 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRÍA EN MECÁNICA ELÉCTRICA MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED

Asesorado por: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.


Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

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

Juliaca 20 de mayo del 2025

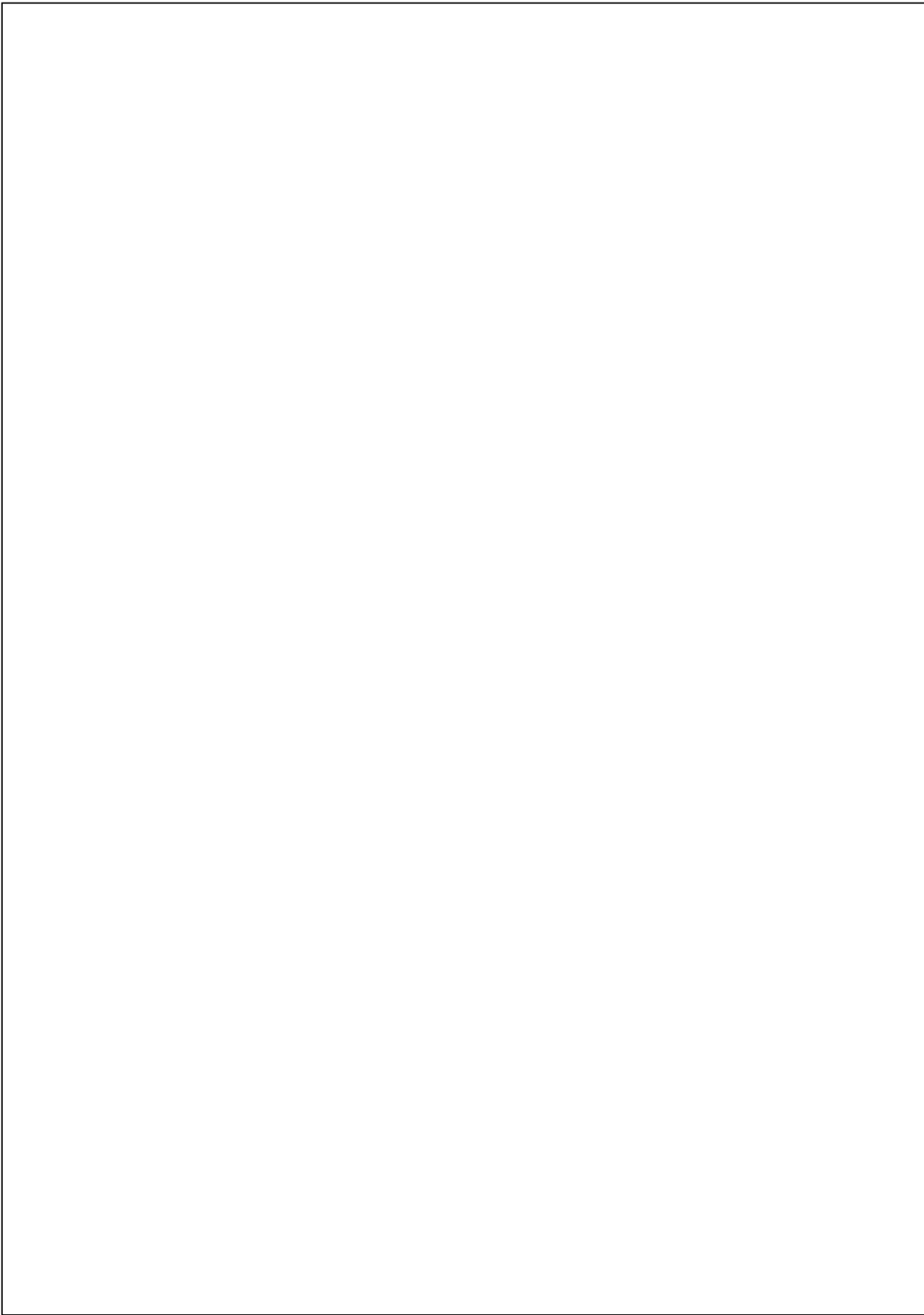


FIRMA (ASESOR)



FIRMA (obligatoria)





DEDICATORIA

Dedicado ³ a mis padres por su apoyo incondicional y por creer en mi por cada paso que se da en este camino de la vida, a mi esposa y mis hijos, mi familia, por ser mi refugio, con sus palabras de ánimo y estar presente en cada momento.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la escuela de Posgrado por sus enseñanzas y en especial a mi asesor por su valiosa contribución, sin su guía y apoyo, esta tesis no habría sido posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii

CAPITULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN ⁵ DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Pregunta general.....	4
1.2.2. Preguntas específicas.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3.1. Social.....	5
1.3.2. Tecnológica.....	5
1.3.3. Ambiental.....	5
1.3.4. Económica.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	6

1.5.1.	1	Importancia de la investigación	6
1.5.2.		Alcance de la investigación	7
1.6.	1	LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.6.1.		Limitaciones de la investigación	8
1.6.2.		Delimitaciones de la investigación	10
1.7.		HIPÓTESIS	11
1.7.1.		Hipótesis general	11
1.7.2.		Hipótesis específicas	11
1.8.		VARIABLES E INDICADORES	12
1.8.1.		Conceptualización de variables	12
1.8.2.		Operacionalización de variables	13

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.		ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	14
2.1.1.		A nivel internacional	14
2.1.2.		A nivel nacional	23
2.1.3.		A nivel regional	24
2.2.		BASES TEÓRICAS	24
2.2.1.		Enfoques teóricos de la variable 1	24
2.2.2.		Enfoques teóricos de la variable 2	29
2.3.		MARCO CONCEPTUAL	33
2.3.1.		Internet de las Cosas (IoT)	33
2.3.2.		Tecnología LoRa	34
2.3.3.		LoRaWAN	38
2.3.4.		Transceptor LoRa SX1276	43
2.3.5.		Sistema de monitoreo en tiempo real	44

2.3.6. Sensores	47
2.3.7. Módulo fotovoltaico aislado de la red.....	48
2.3.8. Node-Red	48
2.3.9. MQTT	49
2.3.10. Base de datos.....	50
2.3.11. Energía renovable	50
2.3.12. Sustentabilidad.....	51
2.3.13. Normativa para el monitoreo	51

60
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.1. Enfoque cuantitativo	53
3.1.2. Tipo Descriptivo-Correlacional.....	54
3.2. MÉTODO APLICADO A LA INVESTIGACIÓN	54
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	55
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	55
3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	56
3.6.1. Población.....	56
3.6.2. Muestra.....	56
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	56
3.7.1. Técnicas de investigación.....	56
3.7.2. Instrumentos de investigación	56
3.8. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.....	57

3.8.1. Validez de los instrumentos	57
3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos	57
3.9. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	57

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1.1. Sistemas de monitoreo en tiempo real	58
4.1.2. Diseño del sistema de monitoreo a nivel hardware	66
4.1.3. Diseño del sistema de monitoreo a nivel software	99
4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	107
4.2.1. Evaluación de tecnologías de comunicación	107
4.2.2. Evaluación del sistema de monitoreo en tiempo real	109
4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	116
DISCUSIÓN	119
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	124
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	135
ANEXO 1: Matriz de consistencia	136
ANEXO 2: Instrumentos de la Investigación	137
ANEXO 3: Fichas de validez de instrumentos	155
ANEXO 4: Muestras fotográficas del proceso de recolección de datos	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	13
Tabla 2	Características del Transceptor LoRa SX1276	43
Tabla 3	Parámetros a ser monitoreados en tiempo real para sistemas fotovoltaicos	46
Tabla 4	Evaluación de tecnologías de comunicación inalámbricas.....	61
Tabla 5	Asignación de ponderados para las tecnologías de comunicación inalámbricas.	64
Tabla 6	Características del módulo LILYGO LoRa32.....	69
Tabla 7	Características del sensor DHT22.....	71
Tabla 8	Características del sensor UV ML8511	72
Tabla 9	Características del sensor de corriente-voltaje INA219	73
Tabla 10	Características del controlador de carga TP4056	74
Tabla 11	Características del Convertidor DC-DC Step-Up MT3608	75
Tabla 12	Características de la batería de litio 18650	76
Tabla 13	Especificaciones de nuestro panel solar de 12W.....	81
Tabla 14	Características de la Raspberry Pi 3B.....	87
Tabla 15	Características de Acces Point (Huawei Mobile WiFi E5573C)....	89
Tabla 16	Características del controlador solar Fangpusun PR1010 PWM	90
Tabla 17	Características del acumulador de energía BMS 3S.....	91
Tabla 18	Reductor de voltaje DC DC CC05ZM.....	92
Tabla 19	Especificaciones de nuestro panel solar de 55W.....	96
Tabla 20	Comparación de datos eléctricos obtenidos con el sistema propuesto y un multímetro digital Fluke 179.....	111

Tabla 21 Comparación de datos de temperatura obtenidos con el sistema propuesto y el multímetro digital Fluke 179..... 114

51 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Elementos de un sistema fotovoltaico aislado.....	26
Figura 2	Arquitectura de una red de sensores inalámbricos (WSN).....	27
Figura 3	Estructura de un sistema Ciber-Físico	30
Figura 4	Ecuación para el Internet de las Cosas.....	33
Figura 5	Logotipo de la tecnología LoRa.....	34
Figura 6	Características de la tecnología LoRa frente a otras tecnologías IoT.....	35
Figura 7	Alcance vs ancho de banda, comparación de LoRa con otras tecnologías.....	36
Figura 8	Representación de la tecnología LoRa respecto a las capas del modelo OSI.....	36
Figura 9	Aplicaciones de la tecnología LoRa	37
Figura 10	Logotipo del protocolo LoRaWAN	38
Figura 11	Tecnología LoRaWAN.....	39
Figura 12	Arquitectura de red LoRaWAN	39
Figura 13	Topología de una red LoRaWAN	42
Figura 14	Aplicación de la norma IEC61724 para sistemas fotovoltaicos aislados de la red	45
Figura 15	Proceso de funcionamiento de los sensores.....	47
Figura 16	Plataforma de desarrollo de Node-Red.....	48
Figura 17	Arquitectura MQTT publicador/suscriptor.....	49
Figura 18	Diagrama de flujos para evaluación de tecnológica de comunicación.	59
Figura 19	Diagrama de bloques general del sistema de monitoreo	67

Figura 20 ³ Diagrama de bloques del subsistema de transmisión (Tx).....	68
Figura 21 Módulo LILYGO LoRa32	70
Figura 22 Diagrama de pines del módulo LILYGO LoRa32	70
Figura 23 Sensor de Temperatura y Humedad AM2302	71
Figura 24 Módulo Sensor UV ML8511	72
Figura 25 Módulo Sensor de Corriente-Voltaje INA219	73
Figura 26 Módulo Controlador de Carga TP4056.....	74
Figura 27 Módulo DC-DC Step-Up MT3608.....	75
Figura 28 Batería de Litio 18650	76
Figura 29 ³ Diagrama de conexión del subsistema de transmisión	82
Figura 30 Esquemático del subsistema de transmisión (TX).....	83
Figura 31 Diseño de la placa electrónica (Board) del subsistema de transmisión (TX).....	84
Figura 32 Elaboración de la board en una placa de baquelita.....	84
Figura 33 Implementación del Subsistema de transmisión	85
Figura 34 Diagrama de bloques del subsistema de recepción (Rx)	86
Figura 35 Raspberry Pi 3B	88
Figura 36 Huawei Mobile WiFi E5573C.....	89
Figura 37 Controlado de carga Fangpusun PR1010.....	90
Figura 38 ¹⁶ Módulo para carga de baterías de Li-ion BMS 3S.....	91
Figura 39 Reductor de voltaje Xiaomi CC05ZM	92
Figura 40 Diagrama de conexión del subsistema de recepción	96
Figura 41 Esquemático del módulo LILYGO LoRa32 en el software eagle	97
Figura 42 Diseño de la placa para el módulo LILYGO LoRa32.....	98

Figura 43	Implementación del Subsistema de recepción	98
Figura 44	Diagrama general del sistema de monitoreo	99
Figura 45	²² Diagrama de flujos del funcionamiento del subsistema de transmisión.....	100
Figura 46	Diagrama de flujos del programa desarrollado en el IDE de Arduino, para el subsistema de transmisión.....	101
Figura 47	²² Diagrama de flujos del funcionamiento del subsistema de recepción.....	102
Figura 48	Diagrama de flujos del programa desarrollado en el IDE de Arduino para el subsistema de recepción	103
Figura 49	Diagrama de flujos para la elaboración de la Dashboar	104
Figura 50	Desarrollo de la interface gráfica en Node-RED	105
Figura 51	Resultado de la Dashboar para el sistema de monitoreo.....	105
Figura 52	Proceso para la ¹³⁸ implementación de la Base de Datos para el sistema de monitoreo	106
Figura 53	Desarrollo de la interface gráfica en Node-RED y la base de datos MariaDB.....	107
Figura 54	Puntuacion del MCDA para tecnologías de comunicación	108
Figura 55	Comparación de desviación estándar y márgenes de error de las potencias.	113
Figura 56	Comparación de la desviación estándar y margen de error de la temperatura ambiente	116

ABREVIATURAS

CPS	Sistema Ciberfísico
DB	Base de Datos
IDE	Entorno de desarrollo integrado
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IoT	Internet de las Cosas
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LTE	Long Term Evolution
MCD	Análisis de Decisión Multicriterio
PV	Panel Fotovoltaico
Rx	Recepción
Tx	Transmisión
WiFi	Wireless Fidelity
WSN	Red de Sensores Inalámbricos

RESUMEN

En el contexto actual de creciente adopción de sistemas fotovoltaicos aislados, surge la necesidad crítica de monitoreo eficiente, especialmente en zonas remotas. Este estudio aborda dicha necesidad desarrollando un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para módulos fotovoltaicos aislados. El objetivo principal fue diseñar, implementar y evaluar un sistema capaz de proporcionar mediciones precisas y confiables en condiciones de aislamiento. La metodología de enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño de campo. Se realizó un análisis de decisión multicriterio (MCDA) para evaluar tecnologías de comunicación, seguido del diseño e implementación de un prototipo funcional. Las pruebas se realizaron comparando el sistema propuesto con uno calibrado, siguiendo los estándares de la normativa IEC 61724 clase B. Los resultados revelaron que LoRaWAN superó a otras tecnologías con una puntuación de 4.40/5 en el MCDA. El sistema demostró precisión comparable a uno calibrado, con valores p de 0.050510 para potencia y 0.886555 para temperatura. Los márgenes de error fueron $\pm 0.484\text{W}$ para potencia y $\pm 0.039^\circ\text{C}$ para temperatura, con 95% de confianza. El prototipo operó eficientemente con un panel solar de 12W y dos baterías de 3300mAh para transmisión. Se concluyó que el sistema desarrollado es viable y preciso para el monitoreo de módulos fotovoltaicos aislados. Ofrece una solución efectiva para el seguimiento remoto, mejorando la eficiencia y mantenimiento de estas instalaciones. Este avance contribuye significativamente a la optimización de sistemas de energía renovable en áreas remotas, abriendo camino a futuras investigaciones en el campo.

Palabras clave: Sistema de monitoreo, lorawan, módulo fotovoltaico, red.

ABSTRACT

In the current context of increasing adoption of off-grid PV systems, the critical need for efficient monitoring arises, especially in remote areas. This study addresses this need by developing a real-time monitoring system based on LoRaWAN for isolated PV modules. The main objective was to design, implement and evaluate a system capable of providing accurate and reliable measurements under isolation conditions. The methodology of quantitative approach, application level and correlational type. A multi-criteria decision analysis (MCDA) was performed to evaluate communication technologies, followed by the design and implementation of a functional prototype. The tests were carried out comparing the proposed system with a calibrated one, following the standards of the IEC 61724 class B standard. The results revealed that LoRaWAN outperformed other technologies with a score of 4.40/5 on the MCDA. The system demonstrated accuracy comparable to a calibrated one, with p-values of 0.050510 for power and 0.886555 for temperature. The margins of error were $\pm 0.484\text{W}$ for power and $\pm 0.039^\circ\text{C}$ for temperature, with 95% confidence. The prototype operated efficiently with a 12W solar panel and two 3300mAh batteries for transmission. It was concluded that the developed system is viable and accurate for the monitoring of isolated photovoltaic modules. It offers an effective solution for remote monitoring, improving the efficiency and maintenance of these facilities. This breakthrough contributes significantly to the optimization of renewable energy systems in remote areas, paving the way for future research in the field.

Keywords: *Monitoring system, lorawan, photovoltaic module, grid.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los sistemas solares fotovoltaicos sirven como uno de los principales contribuyentes de electricidad limpia en la mayoría de las naciones (Kumar et al., 2018).

Por lo general, los climas más secos dejan depósitos significativos de suciedad, el cual afecta el rendimiento del sistema fotovoltaico, incluso en lugares con abundantes lluvias, los paneles solares pueden acumular suciedad y escombros si no se montan adecuadamente para el escurrimiento de agua. Este problema a menudo se agrava porque los paneles están montados en una ubicación de difícil acceso, lo que dificulta la limpieza de rutina (Bosman et al., 2020).

En los sistemas fotovoltaicos, la elección de los parámetros que se van a monitorear para el buen funcionamiento del sistema es una consideración importante, las mediciones de la radiación solar, la tensión y la corriente fotovoltaica son casi inevitables (Shariff et al., 2015).

Entonces decimos para que un sistema fotovoltaico aislado de la red opere en óptimas condiciones, se debe de monitorear constantemente, por tal motivo en este trabajo de investigación se plantea desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red.

CAPITULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

La electricidad es una de las maravillas modernas. Lamentablemente, aun no llega a toda la población, especialmente en las zonas rurales, donde la cobertura es menor, esto genera retrasos ¹⁰⁶ en muchos aspectos, uno de ellos es el acceso a la información, basta con conectarse a internet y buscarla, pero eso no se puede hacer donde no hay internet ni acceso a la electricidad (Huaquipaco et al., 2020).

Actualmente, la electricidad generada por instalaciones fotovoltaicas es económicamente muy competitiva debido al gran avance tecnológico y la ⁷³ reducción de costes de inversión. En los últimos años, se han instalado un número considerable de sistemas conectados a la red y sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales de difícil acceso (Mnati et al., 2020).

En cuanto a los sistemas de monitoreo, para la supervisión del rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas, se instalaron una gran variedad. Estos sistemas suelen utilizar redes públicas inalámbricas como GSM u otras redes de comunicación inalámbrica para la transmisión de datos (Adhya et al., 2016).

Los sistemas comerciales para la monitorización de instalaciones fotovoltaicas tienen varios inconvenientes como la dependencia del software del fabricante y el costo por mantenimiento es elevado, tienen un alto consumo energético y el control autónomo es limitado, la capacidad de almacenamiento es limitada (Mnati et al., 2020).

En tal sentido observamos y analizamos las desventajas mencionadas anteriormente, concluyendo que es de necesidad el diseño e implementación de sistemas de monitoreo basados en software y hardware libre, apoyándose de las últimas tendencias en cuanto a tecnología se refiere, teniendo como objetivo de este proyecto el desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los efectos del calentamiento global y el cambio climático motivan a los países de todo el mundo cambiar la manera de generar energía eléctrica, realizando la transición de fuentes energéticas contaminantes como el petróleo y el carbón a fuentes energéticas limpias como la energía solar (Osinermin, 2019).

Según estadísticas del Banco Mundial, al año 2020 nuestro país cuenta con el 100% sobre el acceso a la electricidad en el sector urbano y un 96.8 % sobre el acceso a la electricidad en el sector rural (Banco Mundial-BIRF-AIF, 2022).

Nuestro país aún no logra cerrar la brecha de acceso a la electricidad en el sector rural, solo el 83.68% de la población ubicada en esta zona puede acceder al servicio de electricidad, una manera de mitigar este problema es

instalando un sistema fotovoltaico aislado de la red, también llamado sistema fotovoltaico autónomo (Osinermin, 2019).

En nuestra región Puno, tenemos varios proyectos de éxito en cuanto a generación de energía fotovoltaica se refiere, uno de estos es el proyecto de electrificación de la isla Amantani, ubicado en el lago Titicaca, donde la generación de energía fotovoltaica es de 274,56kWp de potencia y en la instalación se contempla un sistema de monitoreo y control haciendo uso de la red Wi-Fi (Paredes Caballero, 2021).

Por otro lado, en las viviendas que están sobre las islas flotantes de los Uros, también en el lago Titicaca, no cuenta con acceso a la electricidad por la red eléctrica convencional, es por tal motivo que el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con la empresa Ergon Perú SAC instalaron un total de 630 paneles solares para suministrar de energía eléctrica a cada vivienda de esta localidad, pero no cuentan con sistema de monitoreo para verificar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Gracias a los programas de electrificación rural, miles de los sistemas solares para el hogar se instalan en regiones remotas, comúnmente en lugares sin red eléctrica, sin redes de telecomunicaciones y a menudo con difícil acceso por transporte común (Lopez et al., 2019).

El principal problema asociado a las instalaciones fotovoltaicas es la ausencia de un sistema de telemetría que permita un adecuado seguimiento de su funcionamiento, la falta de un sistema de monitoreo puede causar la interrupción del suministro eléctrico a usuarios en áreas aisladas, por consiguiente, los sistemas fotovoltaicos requieren el uso de dispositivos de

medición inalámbricos y plataformas informáticas, que permiten el seguimiento en tiempo real de su funcionamiento (Mnati et al., 2020).

Cabe mencionar que los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, nos suministran energía eléctrica para poder utilizarlos de acuerdo a las necesidades que se nos presentan, en tal sentido y dada la problemática planteada en este proyecto de investigación se plantea la siguiente pregunta general: ¿Cómo se puede implementar ⁴ un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica? y las siguientes preguntas específicas: ¿Cuál es el diseño óptimo para ⁴ un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN en un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica? y ¿Cómo se puede implementar ³³ un prototipo de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica?

1.2.1. Pregunta general

PG. ¿Cómo se puede implementar ⁴ un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica?

1.2.2. Preguntas específicas

PE1. ¿Cuál es el diseño óptimo para ⁴ un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN en un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica?

PE2. ¿Cómo se puede implementar un prototipo de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Social

El desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red será beneficioso para la sociedad, porque permitirá a los usuarios que utilizan instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red monitorear y controlar adecuadamente sus instalaciones, especialmente si se instalan en lugares lejanos y/o difíciles de acceder. Sin embargo, este proyecto ayudará a desarrollar la tecnología LoRaWAN en otras áreas y aplicaciones.

1.3.2. Tecnológica

La combinación de nuevas tecnologías como Internet de las cosas y LoRaWAN es ya una realidad, con su ¹³ amplia gama de aplicaciones, incluida la monitorización de la salud, la agricultura, las redes de sensores inalámbricos y los sistemas de energías renovables, hace que la tecnología LoRaWAN sea viable para el desarrollo de este proyecto.

1.3.3. Ambiental

⁹ El sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red no produce gases de efecto invernadero, contaminación sonora o visual. Esto se debe a que los componentes utilizados son pequeños y consumen poca energía, lo que contribuye al cuidado del medio ambiente.

1.3.4. Económica

El sistema de monitoreo basado en LoRaWAN, que se basa en software y hardware libre, tiene un bajo costo de implementación en comparación con los

sistemas de monitoreo comerciales, lo que hace viable su masificación sin restricciones.

50

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. *Objetivo general*

OG. Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica.

50

1.4.2. *Objetivos específicos*

OE1. Identificar y establecer el diseño óptimo para un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN en un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica.

4

OE2. Desarrollar e implementar un prototipo funcional de un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica.

5

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. *Importancia de la investigación*

La importancia de esta investigación no solo buscó desarrollar un sistema de monitoreo innovador y eficaz, sino también demostrar su viabilidad y beneficios potenciales en la práctica, sentando las bases para futuras mejoras y aplicaciones en el ámbito de la energía solar y las tecnologías de monitoreo remoto.

65

a. Innovación tecnológica: La implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para módulos fotovoltaicos aislados de la red representa un avance significativo en el uso de tecnologías de comunicación de

largo alcance y bajo consumo de energía. Esta innovación puede ser adaptada y replicada en diversos campos, potenciando el uso de energías renovables y mejorando la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

b. Contribución a la sostenibilidad: El uso de sistemas fotovoltaicos aislados de la red contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promueve el uso de energías limpias. Un sistema de monitoreo eficaz asegura que estos módulos funcionen de manera óptima, maximizando su rendimiento y vida útil.

c. Impacto social: La posibilidad de monitorear en tiempo real módulos fotovoltaicos en zonas rurales y de difícil acceso mejora la calidad de vida de las comunidades al asegurar un suministro continuo y fiable de electricidad. Esto puede tener efectos positivos en educación, salud y desarrollo económico en estas áreas.

d. Reducción de costos: La implementación de un sistema de monitoreo basado en tecnologías de hardware y software libre, como LoRaWAN, permite reducir los costos asociados al mantenimiento y operación de los sistemas fotovoltaicos. Esto hace que la energía solar sea una opción más accesible y viable económicamente para más usuarios.

1.5.2. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación se extendió en varios niveles, desde la conceptualización y diseño hasta la implementación y evaluación del sistema propuesto.

a. Desarrollo del prototipo: La investigación abarcó el diseño y construcción de un prototipo funcional del sistema de monitoreo en tiempo real, incluyendo la

selección de componentes,¹²³ el diseño de la arquitectura del sistema y la integración de tecnologías IoT y LoRaWAN.

b. Pruebas y validación: Se realizó pruebas exhaustivas del prototipo en condiciones controladas y en entornos reales para validar su rendimiento, precisión y fiabilidad. Esto incluye la evaluación¹³ de la transmisión de datos, el consumo energético y la capacidad de monitoreo en tiempo real.

c. Análisis de datos:¹²¹ Se llevó a cabo un análisis detallado de los datos recopilados por el sistema de monitoreo para evaluar su efectividad y detectar posibles mejoras. Esto permitió optimizar el diseño y funcionamiento del sistema.

d. Replicabilidad y escalabilidad: La investigación exploró la posibilidad de replicar y escalar el sistema de monitoreo para su uso en diferentes contextos y aplicaciones. Esto incluye la adaptación del sistema para diferentes tipos de módulos fotovoltaicos y condiciones ambientales.

e. Impacto a largo plazo: Se analizó el impacto a largo plazo de la implementación del sistema de monitoreo en términos de sostenibilidad, eficiencia energética y beneficios económicos. Esto proporcionó⁵⁵ una base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de las energías renovables y las tecnologías de monitoreo.

1.6. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación son los factores externos que pueden afectar los resultados y el desarrollo del estudio. Estas limitaciones pueden ser técnicas, económicas, geográficas y temporales.

a. Limitaciones técnicas:

Disponibilidad de equipos: La investigación dependió de la disponibilidad y calidad de los equipos como los módulos LoRa, sensores y otros componentes electrónicos, los cuales pueden no estar fácilmente accesibles en el mercado local.

Interferencias de señal: La transmisión de datos a través de LoRaWAN estuvo sujeta a interferencias de señal y limitaciones de alcance en entornos con obstáculos físicos o condiciones climáticas adversas.

Compatibilidad de componentes: La integración de diferentes componentes de hardware y software presentó desafíos de compatibilidad, afectando el desempeño y la estabilidad del sistema.

b. Limitaciones económicas:

Presupuesto: Los recursos financieros para la adquisición de materiales y equipos son ²⁵ necesarios para el desarrollo y prueba del sistema de monitoreo. El alcance y la profundidad de las pruebas y el análisis pueden verse limitados por restricciones presupuestarias.

c. Limitaciones geográficas:

Acceso a zonas remotas: La implementación y prueba del sistema en zonas rurales y de difícil acceso son complicadas por cuestiones logísticas, como el transporte y la comunicación.

d. Limitaciones temporales:

Duración del proyecto: El tiempo asignado para la realización de la investigación suele ser insuficiente para cubrir con todas las fases del desarrollo, prueba y análisis del sistema de monitoreo, especialmente en entornos reales y bajo diferentes condiciones.

1.6.2. Delimitaciones de la investigación

Las delimitaciones de la investigación son los límites establecidos por el investigador para enfocar y definir claramente el alcance del estudio.

a. Ámbito geográfico:

Zonas de estudio: La investigación se llevó a cabo en módulos fotovoltaicos aislados ubicados en determinadas zonas rurales específicas de la región de Puno. No se considerarán otras regiones o zonas urbanas.

b. Alcance técnico:

Componentes seleccionados: La investigación se centró en el uso de tecnología LoRaWAN y componentes de hardware y software específicos disponibles en el mercado. No se exploró otras tecnologías de comunicación o componentes no disponibles en el ámbito local.

Prototipo inicial: El desarrollo se limitó a un prototipo inicial funcional que será evaluado en condiciones controladas y en entornos específicos. La investigación no abordó el desarrollo de versiones comerciales o escaladas del sistema.

c. Alcance temporal:

Periodo de estudio: La investigación se desarrolló en un periodo específico establecido de 12 meses, lo cual delimita el tiempo disponible para el diseño, implementación, pruebas y análisis del sistema.

d. Alcance metodológico:

Método de investigación: La investigación utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental. No se consideró enfoques cualitativos ni otros métodos experimentales.

Población y muestra: La población se delimitó a módulos fotovoltaicos aislados de la red. La muestra se seleccionó de manera no probabilística, centrándose en módulos accesibles y representativos dentro de las zonas de estudio determinadas.

e. Alcance de los resultados:

Aplicabilidad: Los resultados y conclusiones de la investigación estuvieron limitados a los contextos y condiciones específicas estudiadas. No se generalizó para todos los tipos de módulos fotovoltaicos o condiciones geográficas diferentes a las investigadas.

Estas delimitaciones permitieron enfocar la investigación en aspectos específicos y manejables, asegurando que los objetivos del estudio sean alcanzables dentro de los recursos y tiempo disponibles.

1

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1. Hipótesis general

HG. El sistema de monitoreo en tiempo real basado en la tecnología LoRaWAN es viable y puede proporcionar mediciones precisas para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica.

1.7.2. Hipótesis específicas

HE1. Es posible diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica.

HE2. Se puede desarrollar e implementar un prototipo funcional de un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica.

1.8. VARIABLES E INDICADORES

1.8.1. Conceptualización de variables

Variable 1

Módulo fotovoltaico aislado de la red: Un módulo ²⁷ fotovoltaico aislado de la red es un tipo de proyecto de energía que no depende de la red eléctrica. (Said et al., 2021).

Variable 2

Sistema de monitoreo basado en LoRaWAN: Los sistemas de monitorización facilitan el mantenimiento y ⁷⁹ la operación de los componentes del sistema de generación fotovoltaica. (Mnati et al., 2020).

1.8.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Título: Sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red.

25 Variables De Estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala De Medición
Módulo fotovoltaico aislado de la red (1)	Un módulo fotovoltaico aislado de la red es un tipo de proyecto de energía independiente, no depende de la conectividad a la red eléctrica (Said et al., 2021).	Suministra de energía eléctrica a un espacio definido.	Ambientales	Temperatura	Numérico de intervalo (°C)
				Humedad	Numérico de razón o relación (%)
			Radiación	Numérico de razón o relación (watts/m ²)	
			Eléctricos	Voltaje	Numérico de razón o relación (V)
Corriente	Numérico de razón o relación (A)				
Sistema de monitoreo basado en LoRaWAN (2)	Los sistemas de monitorización permiten agilizar la operación y mantenimiento de los componentes que componen el sistema de generación fotovoltaica (Mnati et al., 2020).	Recopila, analiza, transmite, administra y retroalimenta la información.	Consumo energético	Watts/Hora	Numérico de razón o relación (watts/hora)

Nota. La tabla presenta la operacionalización de las variables. Los indicadores como la temperatura, humedad, radiación, voltaje y corriente serán medidos por sensores específicos. Elaboración propia.

⁵ CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. A nivel internacional

(Praužek et al., 2022) en el artículo “Análisis de las Transacciones LoRaWAN para Dispositivos de Monitorización Ambiental Alimentados por TEG”, mencionan lo siguiente: La tecnología de transmisión de largo alcance (LoRa) es potencialmente una solución adecuada en abundantes aplicaciones como las ciudades inteligentes, las industrias inteligentes, la salud inteligente y otras, aunque su implementación es difícil y compleja. LoRa es una tecnología de modulación no celular para redes ² de área amplia de largo alcance (LoRaWAN) y es adecuada ¹⁷ para soluciones de Internet de las cosas (IoT) gracias a sus características de largo alcance y bajo consumo de energía. Durante el desarrollo del su artículo ofrece un análisis exhaustivo de las transacciones inalámbricas LoRa a través de varias mediciones, que difieren en la configuración de los parámetros LoRa. Los resultados mostraron la dependencia de la energía consumida por la transacción de la potencia isotrópica radiada efectiva (EIRP) seleccionada. La cantidad de energía consumida por la transacción también depende significativamente de la velocidad de datos

seleccionada (combinación del ³⁴ factor de dispersión y el ancho de banda) y de la carga útil.

(Sánchez & Cano, 2021) "*Control Inteligente y Eficiencia Energética en Sistemas de Riego Mediante LoRaWAN*" en este artículo dan a conocer que las instalaciones de riego en las ciudades o las operaciones agrícolas utilizan grandes cantidades de agua y energía eléctrica en su actividad. Por ello, la optimización de estos recursos es esencial hoy en día. Las redes inalámbricas ofrecen un soporte ideal para este tipo de aplicaciones. ² La red de área amplia de largo alcance (LoRaWAN) utilizada en esta investigación ofrece una gran cobertura de hasta 5 km, tiene un bajo consumo de energía y no necesita hardware adicional como repetidores o amplificadores de señal. Esta investigación desarrolló ⁴³ un sistema de control y monitorización de sistemas de riego. Para ello, se diseña un algoritmo de riego que utiliza los datos de probabilidad de lluvia para regular el riego de la instalación. El algoritmo se complementó con la comprobación del ⁹³ envío y recepción de información en la red LoRa para ⁹³ reducir la pérdida de paquetes de información. Además, se desarrollaron dos dispositivos ¹⁹ de medición de temperatura y humedad para LoRaWAN (THMDLs) y un dispositivo de control de electroválvulas para LoRaWAN (ECDLs). También se diseñó el hardware y el software, y se construyeron prototipos con el desarrollo de la placa electrónica. La amplia cobertura de la LoRaWAN permite cubrir desde pequeñas hasta grandes áreas de riego.

(Mnati et al., 2020) en su artículo "*Diseño e Implementación de una Red de Bajo Coste de Sistemas de Monitorización Fotovoltaica Basada en LoRaWAN*" señalan que el mercado de sistemas fotovoltaicos se está renovando

constantemente, lo que requiere un nuevo sistema que permita al usuario monitorizar su proyecto a larga distancia. Internet de las Cosas es uno de los sistemas que se están implementando en los parques fotovoltaicos en la actualidad. Este sistema tiene como objetivo brindar al usuario la capacidad de monitorear el estado de sus paneles fotovoltaicos en tiempo real. El documento presenta una nueva solución basada en la tecnología LoRaWAN que permite al usuario acceder a la información necesaria para lograr una alta eficiencia ⁷¹ de los paneles de los sistemas fotovoltaicos. Este sistema implica la creación e ⁷ implementación de un circuito de medida innovador que utiliza la tecnología LoRa para medir el voltaje y la corriente de salida de los paneles fotovoltaicos a larga distancia. Se han realizado dos pruebas para verificar que el dispositivo funciona correctamente. La primera es un ensayo que calcula la distancia máxima a la que un nodo puede comunicarse con el enlace. La segunda prueba mide el voltaje y la corriente de salida del panel fotovoltaico del sistema completo. El circuito final se puede utilizar principalmente para monitorear paneles fotovoltaicos a un bajo costo y tener un rendimiento de alta eficiencia a larga distancia.

(Pasetti, Sisinni, et al., 2020) en el artículo titulado "*Evaluación del Uso de LoRaWAN de Clase B para la Coordinación de Sistemas de Protección de Interfaz Distribuida en Redes Inteligentes*" mencionan que la adopción del paradigma de la generación distribuida está introduciendo varios cambios en el diseño y el funcionamiento de las redes de distribución modernas. Los códigos de las redes modernas son cada vez más complejos y la adopción de sistemas de protección inteligentes se está haciendo obligatoria. Sin embargo, la adopción de unidades más nuevas e inteligentes es sólo la mitad de la historia. Indican

también que hay que proporcionar redes de comunicación adecuadas, y los costes globales pueden llegar a ser críticos. En este trabajo, se sugiere la adopción de la tecnología de ¹³ red de área amplia de largo alcance (LoRaWAN) como un enfoque viable para implementar la coordinación de los sistemas de protección de interfaz. Se propuso y evaluó ³⁸ una arquitectura de comunicación adecuada basada en la tecnología LoRaWAN de clase B con el fin de evaluar su viabilidad para la aplicación considerada. ¹²⁵ Se llevó a cabo un análisis de escalabilidad, calculando el número de dispositivos que puede manejar un solo Gateway LoRaWAN (GW) y el tiempo máximo de respuesta esperado entre un evento de activación y la llegada del comando de coordinación relacionado. Los resultados del estudio mostraron que un único GW puede gestionar hasta 312 dispositivos, asegurando un tiempo de respuesta máximo de 22,95 s. También es posible un tiempo de respuesta máximo más rápido de 6,2 s reduciendo el número de dispositivos gestionados a 12.

(Pasetti, Ferrari, et al., 2020) “Sobre el uso de LoRaWAN para la Monitorización y Control de Recursos Energéticos Distribuidos en un Campus Inteligente” en su artículo declaran lo siguiente. La aplicación de los avances más recientes ¹¹⁶ de la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) a la automatización de los edificios se perfila como una solución prometedora para lograr mayores eficiencias en el consumo de energía y permitir la realización de modelos sostenibles. La aplicación del IoT ha demostrado su eficacia en muchos campos, como confirman, por ejemplo, los conceptos de la Industria 4.0, que están revolucionando las cadenas de producción modernas. Siguiendo este enfoque, el uso de arquitecturas de control distribuido y de tecnologías IoT (tanto cableadas como inalámbricas) daría lugar a soluciones eficaces para la gestión

de entornos inteligentes compuestos por grupos de edificios, como los campus. En este caso, se suelen adoptar soluciones de IoT heterogéneas para satisfacer los requisitos de los muy diversos escenarios posibles (e.g., cobertura en interiores frente a exteriores, nodos móviles frente a fijos, por mencionar algunos), lo que dificulta su integración a gran escala. Para hacer frente a este problema, este trabajo presenta una arquitectura IoT capaz de gestionar de forma transparente diferentes protocolos de comunicación en entornos inteligentes, e investiga su posible aplicación para la monitorización y el control de los recursos energéticos distribuidos en un campus inteligente. En particular, se considera un caso de uso centrado en la integración de la tecnología **red de área amplia de largo alcance (LoRaWAN)** para hacer frente a escenarios de comunicación heterogéneos en interiores y exteriores. El análisis de viabilidad de la solución propuesta se lleva a cabo mediante el cálculo de los límites de escalabilidad del enfoque, basado en el modelo de datos del campus inteligente propuesto. Los resultados del estudio mostraron que la solución propuesta sería capaz de gestionar más de 10.000 nodos. Una validación experimental de la tecnología LoRaWAN confirma su idoneidad en términos de cobertura y latencia, con un rango de cobertura celular LoRaWAN mínimo de 250 m, y una latencia de comunicación de unos 400 ms. Por último, se destacan las ventajas de la solución propuesta en la supervisión y gestión de un sistema fotovoltaico en un escenario del mundo real.

(Bosman et al., 2020).en su revisión "*Mantenimiento Predictivo de Sistemas FV: Retos, Enfoques Actuales y Oportunidades*" expresan lo siguiente: En el sector de la energía solar de Estados Unidos, existe el lema general de "instálalo y olvídaló". Esta noción se deriva de gran parte de la investigación y

los estudios de fiabilidad en torno a los propios paneles fotovoltaicos (PV), y no necesariamente del sistema fotovoltaico en su conjunto (incluyendo el inversor y otros componentes). Esto implica que el mantenimiento y la supervisión periódica no son necesarios. Sin embargo, muchas cosas pueden ir mal y hacer que el rendimiento real se desvíe del esperado. Si los fallos y/o los problemas de degradación imprevistos no se detectan, conducirán a una reducción de la generación de energía (y de los créditos de electricidad asociados) y/o a una posible pérdida de la garantía de los componentes debido a la rotación del fabricante. Dada la magnitud del problema y de las soluciones actuales, los autores proponen que los propietarios de sistemas fotovoltaicos necesitan una herramienta de mantenimiento predictivo a nivel de sistema de un tercero imparcial para optimizar el rendimiento de la inversión y minimizar el tiempo de reclamo de la garantía en las instalaciones fotovoltaicas. Este artículo revisa la literatura destacando los desafíos, los enfoques actuales y las oportunidades para el mantenimiento predictivo fotovoltaico. El documento concluye con un llamamiento a la acción para establecer una agenda de colaboración para priorizar el mantenimiento predictivo fotovoltaico.

(Lopez et al., 2019) *"Aplicación IoT para la Monitorización en Tiempo Real de Sistemas Solares Domésticos Basada en Arduino™ con Conectividad 3G"* en este artículo describen lo siguiente: Se ha diseñado, construido, programado e instalado un novedoso datalogger basado en software y hardware libre como prototipo experimental en múltiples lugares. La monitorización remota amplía la eficacia del datalogger en las zonas privadas de la red eléctrica y de las redes tradicionales de telecomunicaciones por cable. La integración del Internet de las Cosas en los sistemas de medición solar permite la monitorización remota de

¹⁰⁴ pequeños sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos, mejorando el rendimiento y el mantenimiento del sistema. El datalogger mide parámetros eléctricos y climáticos (hasta 14 parámetros, ampliables) con la precisión requerida establecida por la norma IEC61724. La inclusión de la tecnología 3G en el mismo permitió ³ la monitorización de sistemas fotovoltaicos aislados de la red de forma remota vía web o vía aplicación móvil, todo ello a bajo coste. Se realizaron medidas en exteriores de más de 12 meses bajo las duras condiciones ambientales en múltiples ubicaciones para probar el nuevo datalogger en diferentes condiciones reales demostrándose la robustez y la fiabilidad del sistema.

(Barro et al., 2019) en su artículo “*TLTN – The Local Things Network: Sobre el Diseño de un Gateway LoRaWAN con Servidores Autónomos para Comunidades Desconectadas*” sugieren lo siguiente. Los dispositivos IoT deben ser fáciles de usar y capaces de funcionar sin intervención durante largos períodos de tiempo sobre el terreno. Estos son los objetivos de LoRaWAN. Los desarrolladores en Europa pueden acceder fácilmente a los Gateway públicos de The Things Networks (TTN) que ya se han instalado para conectarse a los dispositivos finales LoRaWAN. ² En muchos países en vías de desarrollo, la falta ⁸ de acceso a Internet dificulta el uso de TTN. Este artículo presentó ⁸ una solución que permite conectar nodos finales IoT locales a un Gateway ⁸ LoRaWAN sin necesidad de acceso a Internet. Esta solución es a bajo costo y consume poca energía. Se implementó los ⁸ tres bloques de construcción de la arquitectura LoRaWAN (pasarela, servidor de red y servidor de aplicaciones) en un solo bloque basado en una Raspberry Pi y un módulo LoRaWAN. Un punto de acceso WiFi permite el acceso local a los datos de la aplicación, lo que permitió a los

miembros de la comunidad acceder a sus datos comunitarios incluso cuando no hay Internet. También sugiere que se pueden implementar servicios similares a los de un repositorio local para brindar contenido educativo, médico y de otro tipo que aborde las necesidades más pertinentes de las comunidades aisladas, además de los datos de IoT en tiempo real.

(Kumar et al., 2018) "*Internet de las Cosas (IoT) en Sistemas Fotovoltaicos*". Expresan que la energía solar es uno de los mayores atractivos entre las fuentes de energía renovables utilizadas para la electrificación. Para el aprovechamiento de la energía solar se requiere un sistema fotovoltaico que convierta la energía luminosa del sol en electricidad directa. Los sistemas fotovoltaicos pueden instalarse en cualquier lugar en el que se disponga de suficiente potencial energético. El mayor reto de los sistemas fotovoltaicos es estudiar su rendimiento, ya que varía en función de varios parámetros y del funcionamiento de los componentes del sistema. Por lo tanto, se necesita un sistema de monitorización en tiempo real para evaluar su rendimiento. Este estudio informó sobre el uso de Internet de las cosas (IoT) en la supervisión del rendimiento y el control en tiempo real de los sistemas fotovoltaicos. Se centra en la necesidad de IoT y su arquitectura para los sistemas fotovoltaicos con discusiones relevantes. El uso de IoT mejora la comprensión de los parámetros de funcionamiento en tiempo real. Esto ayuda al control de los sistemas fotovoltaicos instalados en zonas remotas, al diagnóstico rápido y eficaz de fallas, al mantenimiento y al registro de datos de generación y rendimiento para su análisis

(Adhya et al., 2016) en su artículo "*Una Unidad de Monitorización y Control Remoto de Energía Solar Fotovoltaica Inteligente Basada en IoT*" mencionan lo

siguiente: El uso de tecnología de Internet de las cosas para supervisar la producción de energía solar fotovoltaica puede mejorar significativamente el rendimiento, la supervisión y el mantenimiento de la planta. Con el desarrollo de nuevas tecnologías, los precios de los equipos para generar energía renovable están disminuyendo en todo el mundo, lo que impulsa el desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas a gran escala. Dado que la mayoría de las plantas de energía solar fotovoltaica están instaladas en lugares inaccesibles, son necesarios sistemas complejos para automatizar la supervisión remota de las plantas mediante interfaces basadas en la web. La implementación de una nueva metodología rentable basada en Internet de las cosas para monitorear remotamente una planta solar fotovoltaica con la finalidad de evaluar su rendimiento fue la base de discusión en este documento. Esto facilitará la monitorización en tiempo real, el mantenimiento preventivo, la detección de fallas y el análisis histórico de la planta.

(Shariff et al., 2015) en el artículo “Sistema de Adquisición de Datos Basado en Zigbee para la Monitorización Online de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red” manifiestan que la monitorización es un componente crítico para evaluar la estabilidad y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El método más simple consiste en recopilar y enviar datos a través de cables de datos. La estación de monitorización debe estar situada razonablemente cerca de la planta monitorizada debido a los costos y a las limitaciones técnicas del cable de datos. Además de ser una desventaja el uso de estos, generalmente aumenta los costos de capital y mantenimiento del sistema. Un sistema de monitorización inalámbrico basado en Zigbee se desarrolló en este proyecto de investigación para monitorear en línea un sistema

fotovoltaico conectado a ⁴⁹ la red. **Parametros como la temperatura, la irradiación, la potencia fotovoltaica y la potencia del inversor de red se monitorean.** Se proporciona una descripción detallada del proceso de implementación, que incluye el diseño y el desarrollo del hardware y el software. Además, se ha desarrollado una aplicación web fácil de usar que facilita el acceso a los datos monitorizados a través de Internet. Se implementó el sistema en un sistema fotovoltaico de 1,25 kWp conectado a la red para validar el rendimiento.

2.1.2. A nivel nacional

(Aguilar & Merino, 2019) “*Simulación de una Solución basada en IoT Usando LoRaWAN para Estaciones Remotas de la Marina Peruana*” en este artículo dan a conocer que la marina peruana utiliza ¹²⁹ un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) para supervisar y controlar sus estaciones meteorológicas y estaciones luminosas, que están fuera de la ciudad y se alimentan por sistemas fotovoltaicos. Utilizan pasarelas (GateWay) celulares de alto consumo energético para transmitir los datos a un centro de control utilizando los servicios de un proveedor de servicios móviles. El almacenamiento de la información obtenida y la gestión del sistema se realizan en una única ubicación. Este trabajo se centró en el ⁶⁸ diseño de una solución basada en el Internet de las Cosas (IoT) utilizando la tecnología LoRaWAN y una plataforma de IoT en la nube, para reemplazar el sistema actual y darle características de movilidad, redundancia y eficiencia. La pérdida de trayectoria y la cobertura para la estación remota más lejana se calculan ³ utilizando el modelo de propagación Okumura-Hata y dos simuladores de propagación de radio. Se simuló un nodo final LoRaWAN con sensores meteorológicos y se desarrolló una página web para mostrar la información a los usuarios.

51 2.1.3. A nivel regional

(Encinas et al., 2020) "*Sistema de carga fotovoltaica para dispositivos móviles con tecnología de carga rápida 3.0*" en este artículo manifiestan lo siguiente: Los sistemas de carga para las baterías de los dispositivos móviles están evolucionando, pero los sistemas fotovoltaicos aislados todavía utilizan el sistema tradicional de carga de baterías, que tiene inconvenientes en cuanto al tiempo que tardan en cargarse. Para lograr una carga más rápida y eficiente de los dispositivos móviles, se ha implementado un sistema de carga rápida utilizando la tecnología quick charge 3.0. Se utilizó un dispositivo móvil para cargar un sistema solar fotovoltaico con tecnología de carga rápida 3.0 y un método de carga tradicional de 5V a 2A. Los resultados demostraron que hay una discrepancia de hasta 100 minutos en el tiempo de carga entre cada tecnología. Concluyendo, los sistemas fotovoltaicos con tecnología de carga rápida 3.0 cargan los dispositivos móviles a mayor velocidad.

1 2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Enfoques teóricos de la variable 1

El desarrollo de esta investigación se fundamenta en diversos enfoques teóricos y corrientes epistemológicas que proporcionan una comprensión profunda de la variable 1.

El módulo fotovoltaico aislado de la red: Estos enfoques permiten establecer una base teórica robusta para analizar y optimizar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos en contextos específicos. A continuación, se describen los enfoques teóricos y corrientes epistemológicas relevantes para esta variable.

a. Energía solar fotovoltaica

La teoría de energía solar fotovoltaica se basa en los principios de la conversión fotovoltaica, donde la energía solar se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas. Esta teoría abarca aspectos como la física de los semiconductores, la eficiencia de conversión, y los factores que afectan el rendimiento de las células fotovoltaicas, incluyendo la temperatura, la radiación solar y las características del material (Singh, 2013).

Comprender estos principios es crucial para diseñar y evaluar sistemas fotovoltaicos que operen de manera eficiente en entornos aislados.

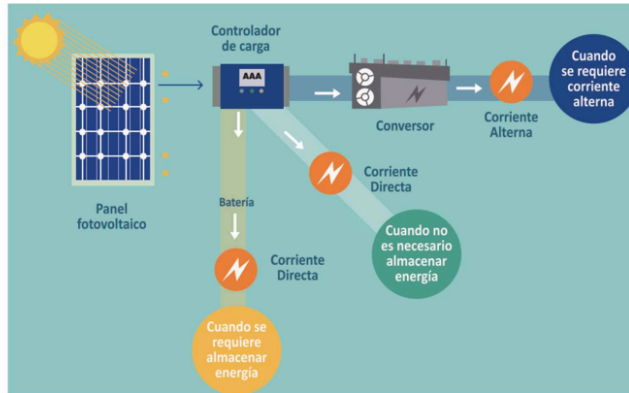
b. Sistemas fotovoltaicos aislados

Los sistemas fotovoltaicos aislados, autónomos u off grid, se caracterizan por su independencia de la red eléctrica convencional, siendo ideales para zonas remotas o de difícil acceso. La teoría de sistemas fotovoltaicos aislados aborda la integración y optimización de componentes como paneles solares, baterías, regulador ó controladores de carga y el inversor. (Osinergmin, 2019).

La Figura 1 muestra los componentes que integran un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica.

Figura 1

Elementos de un sistema fotovoltaico aislado



Nota. El gráfico muestra la conexión convencional ³⁵ de un sistema fotovoltaico aislado. Tomado de *Energías renovables: experiencia y perspectiva en la ruta del Perú hacia la transición energética* (p. 72), por (Osinermin, 2019).

Este enfoque teórico se centra en maximizar la autonomía y la eficiencia del sistema, teniendo en cuenta factores como la capacidad de almacenamiento, la administración de la energía y la durabilidad de los componentes

c. Enfoque de la sostenibilidad energética

El enfoque de la sostenibilidad energética se basa en principios que buscan asegurar que los sistemas energéticos sean socialmente aceptables, ambientalmente amigables y económicamente viables (Horta, 2005). La sostenibilidad también implica la implementación de tecnologías que reduzcan la huella de carbono y promuevan el desarrollo comunitario (Mills, 2012).

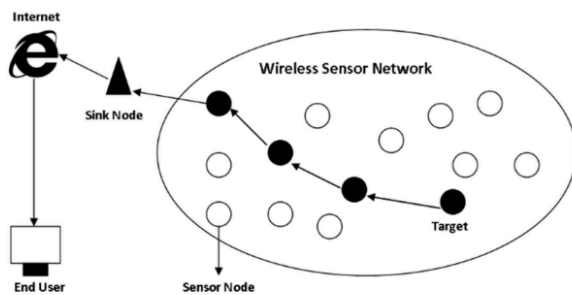
En el contexto de módulos fotovoltaicos aislados, este enfoque enfatiza la importancia de utilizar recursos renovables, minimizar el impacto ambiental y proporcionar beneficios económicos a largo plazo

²⁰ d. Redes de sensores inalámbricos (WSN)

La teoría de redes de sensores inalámbricos (WSN) es fundamental para comprender cómo los sensores distribuidos (nodos-dispositivos finales) pueden ser utilizado para monitorear, controlar y registrar parámetros ambientales o físicas en tiempo real. Las WSN se aplican en varios campos, como en la industria, salud, agricultura energía, transporte. Un nodo está integrado básicamente de un microcontrolador, un transceptor, una memoria externa, una fuente de alimentación y uno o varios sensores. Esta teoría abarca la arquitectura de redes (Figura 2), la gestión de energía, la topología de red, y la seguridad de los datos.,(Ali et al., 2017)

Figura 2

¹⁷ Arquitectura de una red de sensores inalámbricos (WSN)



Nota. La figura muestra la comunicación de los sensores para poder llevar la información hacia el usuario final. Tomado de *A Comprehensive Survey on Real-Time Applications of WSN* (p. 2) por (Ali et al., 2017)

Las WSN utilizan tecnologías de comunicación como LoRaWAN para transmitir datos de manera eficiente a largas distancias. Aplicar esta teoría permite diseñar sistemas de monitoreo robustos y eficientes, esenciales para la gestión de módulos fotovoltaicos aislados.

e. Enfoque de la ingeniería de sistemas

La ¹ingeniería de sistemas es un enfoque interdisciplinario que se centra en el diseño, integración y gestión de sistemas complejos. La ingeniería de sistemas proporciona herramientas y metodologías para analizar el comportamiento del sistema, identificar problemas potenciales y desarrollar soluciones integrales que optimicen el rendimiento y la fiabilidad de un determinado sistema (Bahill, 2000).

En el caso de los módulos fotovoltaicos aislados, este enfoque implica la consideración de todos los componentes del sistema y sus interacciones.

f. Energías renovables

La teoría de la energía renovable aborda ¹¹⁴el aprovechamiento de fuentes de energía que son inagotables y sostenibles, como la energía solar. Este enfoque teórico incluye el estudio de tecnologías, políticas y prácticas que faciliten la adopción de energías renovables (Días, 2015).

En el contexto de esta investigación, la teoría de la energía renovable proporciona una base para evaluar la viabilidad y los beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos aislados en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y sostenibilidad a largo plazo.

2.2.2. Enfoques teóricos de la variable 2

La investigación también se fundamenta en varios enfoques teóricos y corrientes epistemológicas que proporcionan una comprensión detallada de la variable 2.

El sistema de monitoreo en tiempo real: Estos enfoques son cruciales para desarrollar, implementar y evaluar un sistema de monitoreo eficiente y efectivo para módulos fotovoltaicos aislados de ²⁰ la red. A continuación, se describen los enfoques teóricos y corrientes epistemológicas relevantes para esta variable.

a. Sistemas de información

La teoría de los sistemas de información se centra en la recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución de datos. En el contexto de un sistema de monitoreo, esta teoría abarca la arquitectura de sistemas, la integración de hardware y software, y el flujo de información (O'Brien & Marakas, 2011).

Aplicar esta teoría permite diseñar sistemas que capturen datos en tiempo real de los módulos fotovoltaicos, los procesen eficientemente y los presenten de manera accesible para la toma de decisiones.

b. Comunicación inalámbrica

La teoría de la comunicación inalámbrica estudia cómo se transmiten los datos a través del aire ó espacio, sin la necesidad de utilizar medios físicos. Para la comunicación inalámbricas se utilizan ondas electromagnéticas, como las ondas de radio, microondas e infrarrojas con la finalidad de transferir datos entre sistemas informáticos. Esta teoría también abarca conceptos de modulación, codificación de datos, propagación de señales y la mitigación de interferencias (Tomasi, 2003).

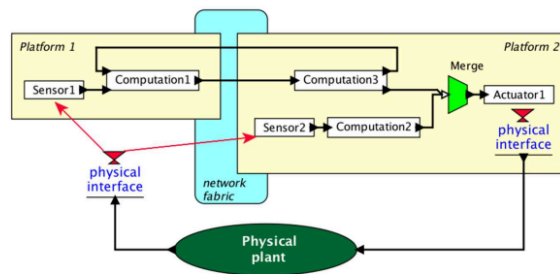
Entender estos principios es esencial para garantizar que el sistema de monitoreo funcione de manera confiable en diversas condiciones ambientales y geográficas.

c. Enfoque de la ciberfísica

Los sistemas ciberfísicos (CPS) integran computación, redes y procesos físicos. En un sistema de monitoreo en tiempo real, los sistemas ciberfísicos permiten la interacción entre el mundo físico (módulos fotovoltaicos) y el mundo digital (sistema de monitoreo) con la finalidad de realizar determinadas tareas, desde las más básicas hasta las más complejas de una manera automática o semi-autónoma (Lee & Seshia, 2017), en la Figura 3 se muestra la estructura de un sistema Ciber-Físico.

Figura 3

Estructura de un sistema Ciber-Físico



Nota. La figura muestra la integración del mundo físico con el mundo digital.

Tomado de Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach (p. 6), por (Lee & Seshia, 2017)

Este enfoque teórico aborda la sincronización, la precisión y la robustez de los sistemas, asegurando que los datos capturados reflejen fielmente las

condiciones del sistema fotovoltaico y que las respuestas sean oportunas y adecuadas.

d. Gestión de datos

La teoría de la gestión de datos abarca el ciclo de vida de los datos, desde su generación hasta su almacenamiento y análisis. Este enfoque incluye la limpieza de datos, la normalización, la agregación y el análisis de datos para extraer información significativa y útil para la toma de decisiones (O'Brien & Marakas, 2011)

En un sistema de monitoreo, es fundamental gestionar grandes volúmenes de datos generados por sensores de manera eficiente.

e. Enfoque de la telemática

La telemática combina tecnologías de telecomunicaciones e informática para transmitir, almacenar y analizar datos, todo esto en un entorno de redes de comunicaciones. Este enfoque incluye también la transmisión de datos en tiempo real. (Stallings, 2014).

En el contexto de un sistema de monitoreo en tiempo real, la telemática permite la supervisión remota de los módulos fotovoltaicos., como también la capacidad de enviar alertas o notificaciones cuando se detectan anomalías o problemas en el sistema.

f. Automatización y control

La teoría de la automatización y control se centra en el diseño de sistemas que pueden operar de manera autónoma con mínima intervención humana. En un sistema de monitoreo, esta teoría se aplica para desarrollar algoritmos y mecanismos que permitan el control automático, haciendo uso de tecnologías

avanzadas para la supervisión y gestión de procesos que se llevan a cabo en tiempo real (Stallings, 2016).

En el entorno de módulos fotovoltaicos y basándose en los datos monitoreados esto implica la regulación de la carga de las baterías, la optimización del rendimiento del sistema y la implementación de medidas preventivas y correctivas.

g. Enfoque de la ingeniería de software

¹³¹ La ingeniería de software proporciona principios y metodologías para el desarrollo de software confiable y eficiente. Este enfoque asegura que el software a desarrollarse para un determinado sistema debe de ser robusto, escalable y fácil de mantener (Sommerville, 2011).

En el sistema de monitoreo, la ingeniería de software es crucial para diseñar interfaces de usuario, desarrollar algoritmos de procesamiento de datos y asegurar la interoperabilidad entre diferentes componentes del sistema.

h. Sostenibilidad de la tecnología

La teoría de la sostenibilidad de la tecnología se enfoca en desarrollar sistemas tecnológicos que sean sostenibles a largo plazo, tanto desde una perspectiva ambiental como económica. (Krantz & Jonker, 2024).

En el contexto ⁴ de un sistema de monitoreo en tiempo real, esto implica diseñar soluciones que consuman poca energía, utilicen materiales reciclables y sean económicamente viables para su implementación y mantenimiento a largo plazo.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de esta investigación proporciona una base clara y estructurada para comprender los términos clave y los conceptos que son fundamentales para el desarrollo y análisis del sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para módulos fotovoltaicos aislados de la red. A continuación, se definen y describen los conceptos más relevantes.

2.3.1. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT), es la conexión e interacción de dispositivos dotados con inteligencia y sensores conectados a Internet, capaces de recopilar y compartir datos (Figura 4). Estos dispositivos incluyen sensores, actuadores, y sistemas integrados que interactúan y se comunican entre sí y con otros sistemas para realizar diversas tareas. El medio de comunicaciones es por radiofrecuencia utilizando transceptores de corto y gran alcance (Stallings, 2016).

Figura 4

Ecuación para el Internet de las Cosas

$$\begin{array}{c}
 \textit{Physical Object} \\
 + \\
 \textit{Controller, Sensor, and Actuators} \\
 + \\
 \textit{Internet} \\
 = \\
 \textit{Internet of Things}
 \end{array}$$

Nota. La figura detalla la ecuación correspondiente para el Internet de las Cosas. Tomado de Designing the Internet of Things (p. 11) por (McEwen & Cassimally, 2014)

Aplicación en la Investigación: En este proyecto, el IoT se utiliza para conectar diversos sensores que monitorean las condiciones ambientales y

eléctricas de los módulos fotovoltaicos, transmitiendo los datos recopilados en tiempo real a un sistema central para su análisis y gestión.

2.3.2. Tecnología LoRa

LoRa (Long Range-Largo Alcance) propiedad de Semtech tiene como característica principal una plataforma inalámbrica de largo alcance y de bajo consumo energético consolidándose como la plataforma inalámbrica esencial para el desarrollo de redes sobre Internet de las Cosas (IoT). Utiliza un método de modulación de espectro ensanchado, proveniente de la tecnología de espectro ensanchado chirp (CSS) (Semtech, s.f.). En la Figura 5 se muestra el logotipo de la tecnología LoRa.

Figura 5

Logotipo de la tecnología LoRa



Nota. La figura muestra el logotipo de la tecnología LoRa que es propiedad de Semtech. Tomado de *LoRa® and LoRaWAN®* (p. 13) por (Semtech, 2024)

Los dispositivos LoRa de Semtech permiten la conexión de sensores a la nube, de esta manera viabilizan la comunicación en tiempo real de los datos y el análisis que estos para mejorar la eficiencia y la productividad (Semtech, 2024).


a. Características de la tecnología LoRa: La comunicación entre dispositivos con tecnología LoRa va desde los 5 kilómetros en zonas urbanas y hasta los 15 kilómetros a más en zonas rurales, dependiendo de la línea de vista. Una de las

características principales de las aplicaciones basadas en la tecnología LoRa, es el bajo consumo energético para su funcionamiento, lo que hace viable desarrollar dispositivos que operen con baterías y que pueden tener una duración de hasta 10 años (Semtech, 2024).

En la Figura 6 se observa las características de la tecnología LoRa comparadas con otras tecnologías IoT.

Figura 6

Características de la tecnología LoRa frente a otras tecnologías IoT

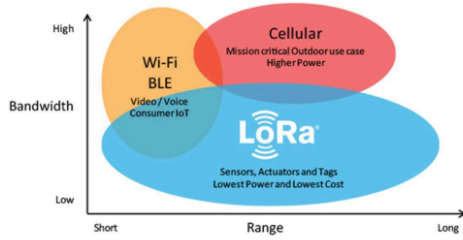
<p><u>Traditional Cellular</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life High Cost</p>	<p>LPWAN (3-5G in 2022)</p>  <p>Long Range Low Data Rates Long Battery Life Low Cost High Capacity Potential</p>	<p><u>Cat-M1</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>
<p><u>Local Area Network</u> (Wi-Fi)</p> <p>Short Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>	<p><u>Narrow-Band IoT</u> (NB-IoT)</p> <p>Stationary Devices Short Range (indoor coverage) Low Data Rates Good Battery Life Low Cost</p>	<p><u>Personal Area Network</u> (Bluetooth*)</p> <p>Very Short Range Low data rates Good Battery Life Low Cost</p>

Nota: La figura muestra las características de la tecnología LoRa frente a otras tecnologías IoT. Tomado de *LoRa® and LoRaWAN®* (p. 4) por (Semtech, 2024)

¹¹ En la Figura 7 se muestra la tecnología LoRa comparado con otras tecnologías de comunicaciones inalámbricas, detallando el gran alcance con la que cuenta la tecnología LoRa con un bajo consumo en ancho de banda.

Figura 7

Alcance vs ancho de banda, comparación de LoRa con otras tecnologías

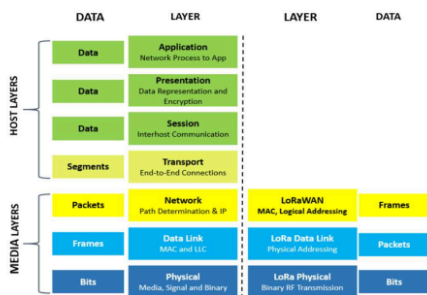


Nota. En la figura se muestra el rango y el bajo consumo de ancho de banda que caracteriza a la tecnología LoRa. Tomado de Platform for IoT [imagen], por (Semtech, 2024), Semtech (<https://www.semtech.com/lora>)

LoRa es una implementación puramente física (PHY), o también denominada de capa de bits, en la Figura 8 se detalla su ubicación en la representación de las siete capas del modelo OSI (Semtech, 2024).

Figura 8

Representación de la tecnología LoRa respecto a las capas del modelo OSI



Nota. La figura indica que la tecnología LoRa trabaja solamente en la capa física del modelo OSI. Tomado de LoRa® and LoRaWAN® (p. 7) por (Semtech, 2024)

b. Aplicaciones de la tecnología LoRa: Los dispositivos LoRa permiten aplicar redes IoT inteligentes (Figura 9) con la finalidad de resolver ² los mayores desafíos con los que se enfrenta nuestro planeta, en las que se puede mencionar la ⁶⁷ gestión de la energía, reducción de los recursos naturales, control de la contaminación y eficiencia de las infraestructuras (Semtech, 2024)

Figura 9

Aplicaciones de la tecnología LoRa



Nota. La figura muestra en gran campo de aplicación de la tecnología LoRa.

Tomado de *Platform for IoT* [imagen], por (Semtech, 2024), Semtech

(<https://www.semtech.com/lora>)

Aplicación en la Investigación: Entender las características de la tecnología LoRa nos ayudó a tener una visión más clara sobre esta tecnología. Los dispositivos LoRa, es la pieza principal en el sistema de monitoreo, gracias a las bondades con las que cuenta hace viable el desarrollo del sistema de monitoreo en tiempo real de una manera más eficiente y a bajo costo.

2.3.3. LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación de red de área amplia y bajo consumo (LPWAN) diseñado para permitir la comunicación entre dispositivos con tecnología LoRa (Long Range) y gateways. LoRaWAN es gestionada por LoRa Alliance®, entidad sin fines de lucro (Semtech, s.f.). En la Figura 10 se observa el logotipo del protocolo LoRaWAN.

Figura 10

Logotipo del protocolo LoRaWAN



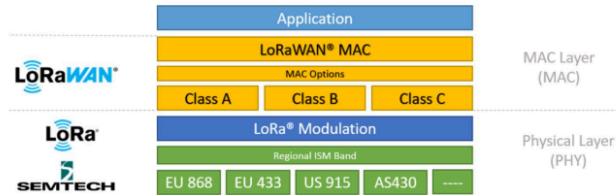
Nota. La figura muestra el logotipo del protocolo LoRaWAN que es administrada por LoRa Alliance. Tomado de *LoRa® and LoRaWAN®* (p. 13) por (Semtech, 2024)

LoRaWAN, fue diseñado para la conexión inalámbrica de objetos a internet (IoT) con la peculiaridad que operen a baterías, las cuales pueden ser distribuidos en redes regionales, nacionales o mundiales, utiliza bandas de frecuencia libres de licencia ISM (Industrial, Científica y Medica) (Semtech, 2024).

En la Figura 11 se puede ver la distribución de la tecnología LoRa respecto a LoRaWAN, tomando como referencia la capa física y la capa MAC.

Figura 11

Tecnología LoRaWAN

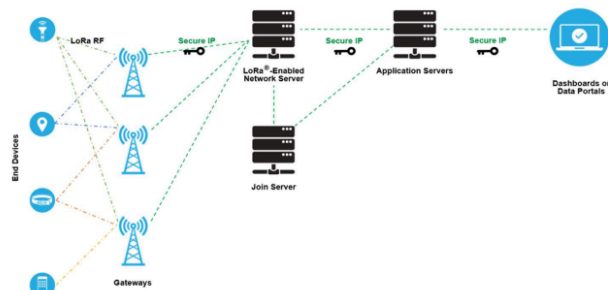


Nota. Distribución de la tecnología LoRa y LoRaWAN con referencia a la capa física y la capa MAC del modelo OSI. Tomado de *LoRa® and LoRaWAN®* (p. 13) por (Semtech, 2024)

a. **Arquitectura de una red LoRaWAN:** En la Figura 12 se muestra los componentes principales con las que cuenta la arquitectura de una red LoRaWAN.

Figura 12

Arquitectura de red LoRaWAN



Nota. La figura detalla los elementos con los que cuenta la arquitectura

LoRaWAN. Tomado de *LoRa® and LoRaWAN®* (p. 14) por (Semtech, 2024)

Dispositivos finales (End Devices): Son dispositivos que recolectan y envían los datos, estos dispositivos finales pueden ser sensores ó actuadores que se

enlazan de una forma inalámbrica a una red LoRaWAN mediante los Gateways, los dispositivos finales hacen uso de la modulación LoRa (Semtech, 2024).

Modos de operación: Los dispositivos finales en una red LoRaWAN pueden trabajar en tres clases, esto dependerá de la configuración del dispositivo. Los modos de operación están relacionados de como los dispositivos finales interactúan con la red LoRaWAN (Semtech, 2024)

Clase A (Bi-direccional): Este es el modo energéticamente más eficiente, puesto que el dispositivo final esta mayormente en reposo, el dispositivo final está a la expectativa a la respuesta del servidor durante dos ventanas cortas de tiempo después de haber transmitido por algún evento ocurrido, si el servidor no da respuesta alguna, el dispositivo final retorna a su estado de reposo (Semtech, 2024).

Clase B (Bi-direccional con ventanas programadas): Esta clase es una mejora respecto a la clase A, facilita a los dispositivos finales la oportunidad de recibir enlaces descendentes de la red de manera regular y programada, lo que convierte a los dispositivos finales de clase B idóneos tanto para sensores de monitorización como para actuadores (Semtech, 2024).

Clase C (Bi-direccional con escucha continua): Los dispositivos finales de Clase C están siempre pendientes a cualquier mensaje del servidor, a menos que estén transmitiendo un mensaje hacia el servidor, en modo de recepción, excepto cuando están transmitiendo (Semtech, 2024).

Gateways: Un Gateway es un dispositivo de red que actúa como un punto de conexión entre la red de dispositivos IoT (como los sensores) y la infraestructura de comunicación más amplia (como Internet o redes privadas). Los Gateways

son los encargados de recibir los datos provenientes de los dispositivos finales y los envían a servidores de red (O'Brien & Marakas, 2011).

Servidor de red (Network server): Es el encargado de administrar la comunicación entre los dispositivos finales y las aplicaciones, a la vez de coordinar con el Gateway. El servidor de red no tiene la capacidad de visualizar ni tener acceso a los datos de aplicación (Semtech, 2024).

Los servidores de red LoRaWAN tienen las características que se mencionan a continuación.

- Comprobación de la dirección del dispositivo.
- Autenticación de tramas y gestión del contador de tramas.
- Acuse de recibo de los mensajes recibidos.
- Adaptación de la velocidad de transmisión de datos mediante el protocolo ADR.
- Respuesta a todas las peticiones de capa MAC procedentes del dispositivo.
- Reenvío de cargas útiles de aplicaciones de enlace ascendente a los servidores de aplicaciones adecuados.
- Puesta en cola de las cargas útiles de enlace descendente procedentes de cualquier servidor de aplicaciones a cualquier dispositivo conectado a la red.

Servidor de aplicaciones (Application server): Son los responsables de manejar, administrar e interpretar de manera segura los datos provenientes de los dispositivos finales, a su vez decodificar las cargas útiles de los datos recibidos (Semtech, 2024)

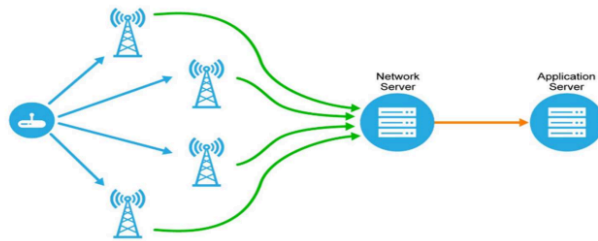
Servidor de join (Join Server): El Join Server es un componente de la red LoRaWAN, el cual contiene la información útil para procesar las tramas de subida

join-request y también generar las tramas de bajada join-accept. Este servidor es la encargada de administrar el procedimiento de autenticación de los dispositivos finales cuando estos se conectan por primera vez a una red basado en LoRaWAN (Semtech, 2024).

b. Topología de una red LoRaWAN: La Figura 13 muestra la topología de red que se emplea en una red LoRaWAN, básicamente es una topología estrella, esta configuración facilita a los dispositivos finales para que se emparejen con la propia red y no estén vinculados exclusivamente a un único Gateway. Con esta topología los dispositivos finales emiten sus datos a todos los Gateways que se encuentran dentro de su alcance. Cada Gateway recopila el dato y lo envía al servidor de red, el cual se encarga de filtrar duplicidad y entrega una versión única a la aplicación (Semtech Corporation, 2024).

Figura 13

Topología de una red LoRaWAN



Nota: La figura muestra la topología estrella en una red LoRaWAN. Tomado de *LoRaWAN Device Classes* (p. 9) por (Semtech Corporation, 2024)

Aplicación en la Investigación: LoRaWAN se emplea como la tecnología de comunicación principal para el sistema de monitoreo, permitiendo la transmisión eficiente de datos a largas distancias con un bajo consumo

energético, lo cual es crucial para las aplicaciones en áreas rurales y de difícil acceso.

2.3.4. Transceptor LoRa SX1276

El transceptor SX1276 incluyen el módem de largo alcance LoRa, el cual brinda una comunicación de espectro ensanchado de gran alcance y una alta resistencia a las interferencias combinado con su bajo consumo energético, hace de este dispositivo un componente versátil para aplicaciones donde se requiere alcance y robustez. (Semtech, 2020). En la Tabla 2 se detalla las características del transceptor LoRa SX1276.

Tabla 2

Características del Transceptor LoRa SX1276

Característica	Descripción
Modem	LoRa
Maximo presupuesto de enlace (Maximum Link Budget)	168 dB
Potencia de salida RF	+20 dBm (100 mW)
Amplificador de potencia (PA)	+14 dBm de alta eficiencia
Tasa de datos programable	Hasta 300 kbps
Sensibilidad	Hasta -148 dBm
Robustez contra interferencias	IIP3 = -11 dBm,
Inmunidad al bloqueo	Excelente
Consumo en corriente (RX)	9.9 mA, 200 nA (en reposo)
Sintetizador Integrado	Resolución de 61 Hz
Modulaciones soportadas	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa, OOK
Sincronizador de Bits	Integrado, para recuperación de reloj
Detección de preámbulo	Soportada
Rango Dinámico RSSI	127 dB

Detección automática de RF y detección de Actividad en el Canal (CAD)	Soportada, con AFC (Control Automático de Frecuencia) ultrarrápido
Gestión de Paquetes	Hasta 256 bytes, con verificación CRC
Sensor de Temperatura	Integrado
Indicador de Batería Baja	Integrado

Nota. La tabla detalla las características correspondientes al transceptor LoRa SX1276. Adaptado de (Semtech, 2020)

Aplicación en la Investigación: El transceptor LoRa SX1276 en el dispositivo principal para el desarrollo del sistema de monitoreo, el cual permite la transmisión y recepción eficiente ¹¹ de datos a largas distancias con un bajo consumo energético.

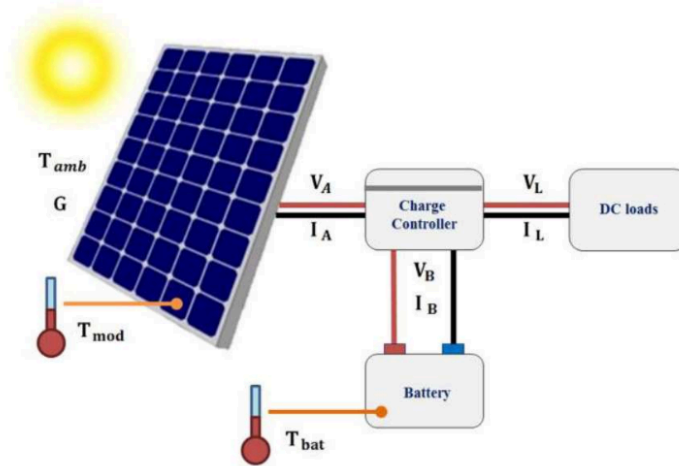
⁶ 2.3.5. Sistema de monitoreo en tiempo real

Un sistema de monitoreo en tiempo real es una plataforma que permite la observación y registro continuo de datos a medida que ocurren. Esto incluye la recolección, transmisión, procesamiento y visualización de información en tiempo real (Sommerville, 2011).

Según la norma IEC61724 titulada "Photovoltaic system performance" menciona los parámetros que se deben de tomar en cuenta para el monitoreo ²⁶ y el análisis del rendimiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos ya sean aislados a la red ²⁶ (autónomos) y conectados a la red, la Tabla 3 menciona un resumen de los parámetros que deben monitorizarse en los sistemas fotovoltaicos en tiempo real (Lopez et al., 2019). La Figura 14 ilustra los parámetros a ser monitorizados según la norma IEC61724.

Figura 14

Aplicación de ⁴⁸ la norma IEC61724 para sistemas fotovoltaicos aislados de la red



Nota. La figura muestra los parámetros a ser monitorizados en un sistema ⁴⁸ fotovoltaico aislado de la red. Tomado de ⁷² *IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino™ with 3G Connectivity* (p. 3) por (Lopez et al., 2019)

Tabla 3*Parámetros a ser monitoreados en tiempo real para sistemas fotovoltaicos*

Parámetros Generales	Parámetros Específicos	Símbolo
Meteorológico	Irradiancia total, en el plano	G_i
	Temperatura ambiente	T_{amb}
	Velocidad del viento (opcional)	-
	Lluvia (opcional)	-
	Humedad (opcional)	-
PV array	Voltaje de salida	V_A
	Corriente de salida	I_A
	Potencia de salida	P_A
Almacenamiento de energía	Temperatura del módulo PV	T_{mod}
	Voltaje de operación	V_S
	Corriente hacia el almacenamiento	I_{TS}
	Corriente desde el almacenamiento	I_{FS}
	Potencia hacia el almacenamiento	P_{TS}
Carga	Potencia desde el almacenamiento	P_{FS}
	Voltaje de carga	V_L
	Corriente de carga	I_L
Red de suministro	Potencia de carga	P_L
	Tensión a la red eléctrica	V_U
	Corriente a la red eléctrica	I_{TU}
	Corriente de la red eléctrica	I_{FU}
Fuente de reserva	Potencia a la red eléctrica	P_{TU}
	Potencia de la red eléctrica	P_{FU}
	Voltaje de salida	V_{BU}
	Corriente de salida	I_{BU}
	Potencia de salida	P_{BU}

Nota. La tabla detalla los parámetros a ser monitoreados por un sistema de monitoreo en tiempo real según la norma IEC61724 Adaptado de (Lopez et al., 2019)

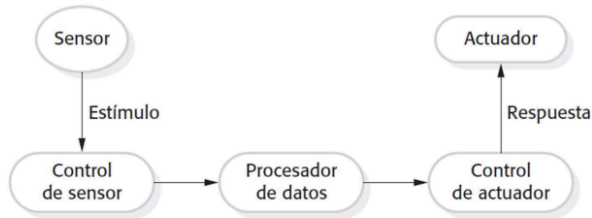
Aplicación en la Investigación: El sistema de monitoreo en tiempo real desarrollado en esta investigación permitirá la supervisión constante de los parámetros operativos y ambientales de los módulos fotovoltaicos, proporcionando datos críticos para la gestión y mantenimiento eficientes.

2.3.6. Sensores

Los sensores son dispositivos que detectan y responden a ciertos tipos de estímulos del entorno físico, como temperatura, humedad, radiación UV, corriente y voltaje, y convierten estos estímulos en datos utilizables para que luego se ejecute el procesamiento y la respuesta vinculado a un actuador (Sommerville, 2011). En la Figura 15 se ilustra este proceso.

Figura 15

Proceso de funcionamiento de los sensores



Nota. La figura muestra un sensor que reacciona a un estímulo y tiene su respuesta en un actuador. Tomada de *Ingeniería de Software* (p. 542) por (Sommerville, 2011)

Aplicación en la Investigación: Diversos sensores se integrarán en el sistema de monitoreo para medir las condiciones ambientales y eléctricas del módulo fotovoltaico, proporcionando datos esenciales para el análisis y optimización del sistema.

2.3.7. Módulo fotovoltaico aislado de la red

Un módulo fotovoltaico aislado de la red es un sistema que convierte la energía solar en electricidad y opera de manera independiente de la red eléctrica pública. Estos sistemas suelen incluir paneles solares, controladores de carga, baterías de almacenamiento y convertidores de corriente (Osinermin, 2019).

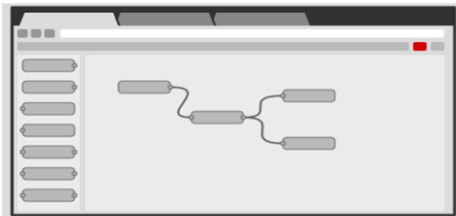
Aplicación en la Investigación: Este concepto es central para el estudio, ya que el sistema de monitoreo se diseñará específicamente para optimizar el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos aislados, asegurando un suministro continuo y eficiente de energía en ubicaciones remotas.

2.3.8. Node-Red

Node-Red es una herramienta de programación visual y código que facilita la interconexión de dispositivos físicos (hardware), APIs y servicios online, mediante flujos y líneas de conexión (Figura 16). Utiliza un editor gráfico basado en la Web, ofreciendo una amplia variedad de nodos para su implementación (Node-Red, s.f.).

Figura 16

Plataforma de desarrollo de Node-Red



Nota. La figura muestra el entorno de desarrollo de Node-RED. Tomado de *Node-RED Low-code programming for event-driven applications* [imagen], por (Node-Red, 2024.), Node-RED (<https://nodered.org/>)

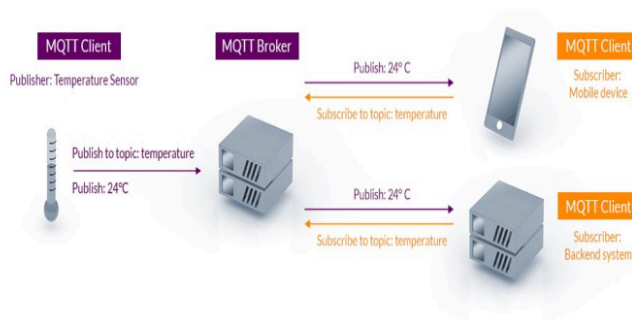
Aplicación en la Investigación: Node-Red tiene un protagonismo importante en el sistema de monitoreo, mediante esta plataforma de programación se implementará el software adecuado para que los datos provenientes de los sensores sean visualizados en una Dashboard, como también se enlace con ¹⁹ una base de datos para la gestión de la información recopilada.

2.3.9. MQTT

MQTT acrónimo de ⁴⁹ Message Queuing Telemetry Transport, es un protocolo de comunicación liviano, diseñado para mensajería de publicador/suscriptor, se caracteriza por ⁸⁷ la transmisión de datos en redes donde el ancho de banda es limitado o con alta latencia, en la Figura 17 se muestra el modo de funcionamiento. MQTT tiene una utilidad significativa en aplicaciones IoT (MQTT, 2022).

Figura 17

Arquitectura MQTT publicador/suscriptor



Nota. La figura muestra el proceso del protocolo MQTT. Tomado de ,MQTT: The Standard for IoT Messaging [imagen], por (MQTT, 2022), MQTT (<https://mqtt.org/>)

Aplicación en la Investigación: Las bondades que brinda el protocolo de comunicación MQTT será de utilidad en el sistema de monitoreo, su rol será de entregar los datos provenientes de los sensores a la plataforma de desarrollo de Node-Red.

2.3.10. Base de datos

Una base de datos es un conjunto unificado de datos que se almacena y se administra de forma estructurada, con el objetivo de facilitar su acceso, manejo y actualización. Los datos almacenados en una base de datos son independientes, no importa los programas de aplicación que los usan ni el tipo de dispositivos donde se almacena los datos (O'Brien & Marakas, 2011).

Aplicación en la Investigación: En la investigación, los sensores recopilan datos los cuales serán almacenados en una base de datos con la finalidad que sean analizados e interpretados, este proceso nos ayuda en el sistema de monitoreo a tener un registro adecuado del comportamiento del módulo fotovoltaico aislado de la red.

2.3.11. Energía renovable

La energía renovable es la energía que se obtiene de recursos naturales que se reponen constantemente, como la luz solar, el viento, el agua y la biomasa. Es una alternativa sostenible a las fuentes de energía tradicionales basadas en combustibles fósiles (Freris & Infield, 2008).

Aplicación en la Investigación: La investigación se centra en el uso de energía solar fotovoltaica, una forma de energía renovable, para proporcionar electricidad en áreas remotas. La eficiencia y sostenibilidad del sistema fotovoltaico son aspectos clave del estudio.

2.3.12. Sustentabilidad

La sustentabilidad se refiere a la capacidad de mantener o mejorar los sistemas y procesos de manera que no agoten los recursos naturales, asegurando su disponibilidad para futuras generaciones (Twidell & Weir, 2006).

Aplicación en la Investigación: El diseño del sistema de monitoreo y el uso de tecnologías IoT y LoRaWAN buscan mejorar la eficiencia y longevidad de los módulos fotovoltaicos, contribuyendo a un uso más sostenible de los recursos energéticos.

2.3.13. Normativa para el monitoreo

La normativa para el monitoreo establece las reglas y estándares que deben seguirse para asegurar que los sistemas de monitoreo operen de manera eficiente, segura y fiable. Estas normas pueden incluir especificaciones técnicas, procedimientos de instalación, y requerimientos de calidad de los datos.

Aplicación en la Investigación: La investigación se adhiere a varias normativas y estándares internacionales y locales ⁴⁶ para garantizar la calidad y fiabilidad del sistema de monitoreo. Algunos de los estándares relevantes incluyen:

IEC 61724: Norma internacional que especifica los requisitos para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos, incluyendo la medición y el reporte de parámetros de rendimiento.

IEEE 1547: Norma que proporciona requisitos para la interconexión de fuentes de generación distribuida, como los sistemas fotovoltaicos, con sistemas eléctricos.

ISO/IEC 27001: Norma para la ²gestión de la seguridad de la información, relevante para ³⁸asegurar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos y almacenados.

LoRaWAN Specification: Especificaciones técnicas proporcionadas por la LoRa Alliance para garantizar la interoperabilidad y el rendimiento de los dispositivos LoRaWAN.

Estas normas y estándares aseguran que el sistema de monitoreo no solo sea técnicamente sólido, ³⁸sino que también ⁶cumpla con los requerimientos de calidad, seguridad y eficiencia.

Estas definiciones y conceptos forman la base teórica del estudio, proporcionando un marco claro ⁶para el desarrollo y análisis del sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para módulos fotovoltaicos aislados de la red.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de esta investigación fue cuantitativo y se diseñó para ser de tipo descriptivo-correlacional. Este enfoque se seleccionó debido a la necesidad de medir y analizar numéricamente el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos aislados, así como la eficiencia y eficacia del sistema de monitoreo basado en LoRaWAN.

3.1.1. Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recopilación y análisis de datos numéricos. Este tipo de enfoque permite establecer patrones y realizar inferencias estadísticas que son fundamentales para la validez de los resultados de la investigación (Sampieri et al., 2014).

En este estudio, se utilizaron métodos cuantitativos para:

- Medir el rendimiento de los módulos fotovoltaicos aislados en términos de producción de energía.
- Evaluar la precisión y fiabilidad de los datos recogidos por el sistema de monitoreo en tiempo real.

- Analizar la eficiencia del sistema de comunicación LoRaWAN en diversas condiciones ambientales y geográficas.

3.1.2. Tipo Descriptivo-Correlacional

La investigación descriptiva-correlacional se enfoca en describir las características detalladas de un fenómeno, situación o grupo con la finalidad de implementar su estructura o comportamiento y a la vez medir el grado de relación entre las variables sin manipularlas directamente. (Arias, 2012)

En esta investigación, se enfocó en describir las características y el funcionamiento, de los módulos fotovoltaicos y del sistema de monitoreo. Esto incluyó la identificación de variables clave, la recopilación de datos sobre el rendimiento del sistema y la evaluación de cómo diferentes factores afectaron su operación.

El componente correlacional de la investigación se centró en identificar y analizar las relaciones entre la variable 1 (como las condiciones ambientales y la configuración del sistema) y la variable 2 (como el rendimiento del módulo fotovoltaico y la eficiencia del monitoreo). A través de análisis estadísticos, se buscaron patrones y correlaciones que permitieron comprender mejor cómo optimizar el sistema de monitoreo y mejorar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos aislados.

3.2. MÉTODO APLICADO A LA INVESTIGACIÓN

Se utilizó el método cuasi-experimental de prueba y error. Este método se caracteriza por ser "casi" un experimento el cual se desarrolla en un entorno no controlado donde no se puede manipular estrictamente las variables (Arias, 2012).

En este estudio el método cuasi-experimental de prueba y error nos permitió ajustar y optimizar el sistema de monitoreo mediante iteraciones sucesivas. Este método facilitó la identificación de problemas y la implementación de mejoras continuas en el diseño y funcionamiento del sistema.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se clasificó como aplicada debido a que está orientada en la resolución de problemas prácticos y la implementación de soluciones tecnológicas (Arias, 2012).

En nuestra investigación para el monitoreo de módulos fotovoltaicos aislados se buscó evaluar, comparar, interpretar y determinar causalidades y sus implicancias en el contexto real de uso.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación fue aplicativo, ya que se centró en solucionar problemas específicos en condiciones reales, empleando conocimientos y teorías previas. (Arias, 2012)

En nuestra investigación se buscó y evaluó las mejores alternativas para poder desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, que sea capaz de brindar mediciones precisas, sea robusto y que tengan un bajo consumo energético

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue de campo, lo que implicó la obtención de datos directamente del sujeto a investigar en su entorno natural. Esta información no fue alterada ni manipulada, asegurando la validez y relevancia de los datos obtenidos (Gallardo, 2017).

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. Población

Se consideró como población a los módulos fotovoltaicos aislados de la red ubicados en zonas rurales y de difícil acceso.

3.6.2. Muestra

La muestra se seleccionó de manera no probabilística, enfocándose en módulos accesibles y representativos dentro de las zonas de estudio determinadas. Se eligieron aquellos módulos que permitieron una evaluación exhaustiva del sistema de monitoreo bajo diversas condiciones ambientales y operativas.

1 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.7.1. Técnicas de investigación

La técnica principal utilizada fue la programación en lenguaje estructurado para el desarrollo del software de monitoreo. Además, se emplearon técnicas de medición directa mediante sensores y módulos electrónicos.

5 3.7.2. Instrumentos de investigación

Los instrumentos utilizados incluyeron módulos LoRa, sensores de temperatura, humedad, corriente, voltaje y radiación UV, así como controladores de carga y módulos fotovoltaicos. Estos dispositivos permitieron la recolección precisa y continua de datos relevantes para la investigación.

5 3.8. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

3.8.1. Validez de los instrumentos

La validación de los instrumentos se realizó mediante comparación con equipos de medición estándar (calibrados), como el multimetro digital FLUKE modelo 179. Esto aseguró la precisión y exactitud de las mediciones realizadas por los sensores y módulos utilizados.

1 3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos se garantizó mediante la certificación de los dispositivos utilizados y la realización de pruebas de calibración y verificación antes de su implementación en el campo.

1 3.9. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis, se diseñó una estrategia que incluyó:

- Definición de Hipótesis: Formulación de hipótesis generales y específicas basadas en los objetivos de la investigación.
- Recopilación de Datos: Implementación del sistema de monitoreo y recolección de datos en tiempo real.
- Análisis Estadístico: Aplicación de métodos estadísticos para evaluar las hipótesis planteadas, incluyendo pruebas de correlación y regresión.
- Validación de Resultados: Comparación de los resultados obtenidos con los estándares y normativas relevantes para garantizar su validez y aplicabilidad

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

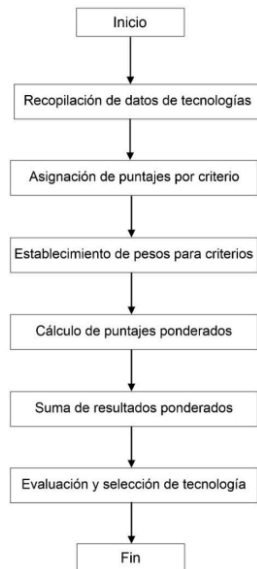
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. *Sistemas de monitoreo en tiempo real*

Con respecto a la determinación de la tecnología óptima para el sistema de monitoreo primero se procedió a elegir la tecnología adecuada considerando el siguiente diagrama de flujo (Figura 18), que es una herramienta útil para visualizar sistemáticamente cómo se llevó a cabo la evaluación de diferentes tecnologías de comunicación en base a múltiples criterios. Facilitando la comprensión y el seguimiento del proceso de decisión, asegurando que todas las etapas necesarias se completaron de manera estructurada y coherente. La Figura 18 detalla el proceso que se realizó para la evaluación de diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica.

Figura 18

Diagrama de flujos para evaluación de tecnología de comunicación



Nota. Procedimiento para determinar la mejor tecnología inalámbrica para realizar el sistema de monitoreo en tiempo real. Elaboración propia.

Donde:

1. **Inicio**: Este es el punto de partida del proceso de evaluación tecnológica.
2. **Recopilación de datos de tecnologías**: En esta etapa, se recogen datos sobre las diferentes tecnologías de comunicación disponibles. Esto incluye información sobre alcance, consumo energético, ancho de banda, costo de implementación, facilidad de uso, y versatilidad para cada tecnología como Zigbee, LTE, WiFi, Bluetooth, y LoRa.

3. *Asignación de puntajes por criterio:* Una vez recopilados los datos, se asignan puntajes a cada tecnología según cada criterio. Estos puntajes varían de 1 a 5, donde 1 es el peor y 5 es el mejor. Los puntajes reflejan el desempeño de cada tecnología en los criterios mencionados.
4. *Establecimiento de pesos para criterios:* Los criterios son ponderados según su importancia relativa en el análisis. Por ejemplo, el alcance y el consumo energético podrían tener un mayor peso, indicando que son más críticos para la decisión final.
5. *Cálculo de puntajes ponderados:* En esta etapa, los puntajes asignados a cada tecnología se multiplican por los pesos de los criterios correspondientes. Esto resulta en puntajes ponderados que reflejan tanto el desempeño de la tecnología como la importancia del criterio.
6. *Suma de resultados ponderados:* Los puntajes ponderados de cada tecnología se suman para obtener un puntaje total. Este puntaje total ayuda a comparar directamente las tecnologías entre sí.
7. *Evaluación y selección de tecnología:* Basado en los puntajes totales calculados, se evalúan las tecnologías y se selecciona la más adecuada. La tecnología con el puntaje más alto se considera la mejor opción según los criterios establecidos.
8. *Fin:* El proceso concluye una vez que se ha seleccionado la tecnología.

La Tabla 4 detalla algunas características de tecnologías de comunicación inalámbricas, mencionando los criterios a ser evaluadas como: El alcance, consumo energético, ancho de banda, costo de implementación, facilidad de uso y versatilidad.

Tabla 4*Evaluación de tecnologías de comunicación inalámbricas*

Tecnología	Alcance	Consumo Energético	Ancho de Banda	Costo de Implementación	Facilidad de Uso	Versatilidad
Zigbee (Kuzlu et al., 2014)	Hasta 100 m	Muy bajo	250 kbps	Medio	Moderada (requiere configuración técnica)	Alta en IoT y domótica
LTE (Lema et al., 2017)	Varios kilómetros	Medio a alto	Hasta 100 Mbps	Alto	Baja (complejidad técnica elevada)	Alta en móviles y transmisión de datos
WiFi (Ertürk et al., 2019)	Hasta 100 m	Medio	Hasta 160 Mbps	Bajo	Alta (ampliamente conocido y documentado)	Alta en acceso a internet y LAN
Bluetooth (Collota et al., 2018)	Hasta 10 m	Bajo	1-3 Mbps	Bajo	Alta (interfaz sencilla y familiar)	Alta en dispositivos personales
LoRa (Haxhibeqiri et al., 2018)	Hasta 15 km	Muy bajo	0.3-50 kbps	Bajo	Moderada (requiere configuración especializada)	Alta en IoT a larga distancia

Nota. La tabla muestra las tecnologías de comunicación inalámbricas a ser evaluadas. Elaboración propia.

Se realizó un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) basado en la tabla 4 y los pesos asignados a cada criterio, se utilizó un método simple de puntuación ponderada. Este método implicó asignar un puntaje a cada opción según cada criterio, multiplicar esos puntajes por los pesos asignados a los criterios y sumar los resultados para obtener un puntaje total para cada tecnología.

Se asignaron puntajes de 1 a 5 a cada criterio para cada tecnología, donde 1 era el peor y 5 era el mejor. Luego, se multiplicaron esos puntajes por los pesos proporcionados y se sumaron los resultados. Los pesos de los criterios son:

- *Alcance: 25%*
- *Consumo Energético: 25%*
- *Ancho de Banda: 10%*
- *Costo de Implementación: 20%*
- *Facilidad de Uso: 10%*
- *Versatilidad: 10%*

Donde:

Alcance: 25%

El alcance fue considerado crucial porque el sistema debía ser capaz de monitorear eficazmente el módulo fotovoltaico en ubicaciones remotas o aisladas. Un alto porcentaje aseguró que el sistema pudiera cubrir la distancia necesaria para transmitir datos de manera eficiente y sin interrupciones, lo cual fue fundamental para el mantenimiento y la supervisión efectiva del módulo.

Consumo Energético: 25%

Dado que el módulo fotovoltaico aislado podría tener recursos energéticos limitados y estar destinado a la eficiencia, era esencial que el sistema de monitoreo no consumiera más energía de la necesaria. Un bajo consumo energético garantizó que el sistema pudiera funcionar de manera óptima sin comprometer la capacidad del módulo fotovoltaico de generar energía para sus propósitos primarios.

Ancho de Banda: 10%

Aunque importante, el ancho de banda tuvo un peso menor porque, aunque el sistema necesitaba transmitir datos eficientemente, la cantidad de datos generados por el monitoreo de un solo módulo no solía ser masiva. Este criterio aseguró que se mantuviera la eficiencia en la transmisión sin necesitar una infraestructura excesivamente robusta.

Costo de Implementación: 20%

El costo de implementación fue significativo porque afectó directamente la viabilidad y la adopción del sistema. En entornos aislados, los costos adicionales de instalación y mantenimiento pudieron ser prohibitivos, por lo que fue importante optimizar este aspecto para asegurar que el sistema fuera económicamente accesible y sostenible.

Facilidad de Uso: 10%

La facilidad de uso fue vital para asegurar que los operadores pudieran manejar el sistema sin necesidad de capacitación extensiva. Un sistema fácil de usar redujo los errores humanos y mejoró la eficiencia en la supervisión del módulo fotovoltaico.

Versatilidad: 10%

La versatilidad se refirió a ⁷⁵ la capacidad del sistema de adaptarse a diferentes condiciones y configuraciones del módulo fotovoltaico. Esto fue importante en un módulo aislado, donde las condiciones pudieron variar significativamente y el sistema debió ser lo suficientemente flexible para ajustarse a estas variaciones sin perder efectividad.

En la Tabla 5 muestra los ponderados asignados a cada tecnología de comunicación inalámbrica, tomando como referencia la información brindada por la Tabla 4.

Tabla 5

Asignación de ponderados para las tecnologías de comunicación inalámbricas

Tecnología	Alcance	Consumo Energético	Ancho de Banda	Costo de Implementación	Facilidad de Uso	Versatilidad
Zigbee	3	5	2	3	3	5
LTE	5	2	5	1	1	5
WiFi	3	3	4	5	5	5
Bluetooth	1	5	1	5	5	5
LoRa	5	5	1	5	3	5

Nota. La tabla detalla la asignación de ponderados para cada tecnología de acuerdo con las características de la tabla 4. Elaboración propia.

Ahora, realizaremos los cálculos para cada tecnología. Los pesos los convertiremos a decimal para la multiplicación:

- Alcance: 0.25
- Consumo Energético: 0.25
- Ancho de Banda: 0.10
- Costo de Implementación: 0.20
- Facilidad de Uso: 0.10
- Versatilidad: 0.10

Zigbee

$$Puntaje = 3 \times 0.25 + 5 \times 0.25 + 2 \times 0.10 + 3 \times 0.20 + 3 \times 0.10 + 5 \times 0.10$$

$$Puntaje = 0.75 + 1.25 + 0.20 + 0.60 + 0.30 + 0.50 = 3.60$$

LTE

$$Puntaje = 5 \times 0.25 + 2 \times 0.25 + 5 \times 0.10 + 1 \times 0.20 + 1 \times 0.10 + 5 \times 0.10$$

$$\text{Puntaje} = 1.25 + 0.50 + 0.50 + 0.20 + 0.10 + 0.50 = 3.05$$

WiFi

$$\text{Puntaje} = 3 \times 0.25 + 3 \times 0.25 + 4 \times 0.10 + 5 \times 0.20 + 5 \times 0.10 + 5 \times 0.10$$

$$\text{Puntaje} = 0.75 + 0.75 + 0.40 + 1.00 + 0.50 + 0.50 = 3.90$$

Bluetooth

$$\text{Puntaje} = 1 \times 0.25 + 5 \times 0.25 + 1 \times 0.10 + 5 \times 0.20 + 5 \times 0.10 + 5 \times 0.10$$

$$\text{Puntaje} = 0.25 + 1.25 + 0.10 + 1.00 + 0.50 + 0.50 = 3.60$$

LoRa

$$\text{Puntaje} = 5 \times 0.25 + 5 \times 0.25 + 1 \times 0.10 + 5 \times 0.20 + 3 \times 0.10 + 5 \times 0.10$$

$$\text{Puntaje} = 1.25 + 1.25 + 0.10 + 1.00 + 0.30 + 0.50 = 4.40$$

LoRa: 4.40

LoRa (Long Range) obtuvo la puntuación más alta debido a su capacidad excepcional para proporcionar comunicaciones a larga distancia, lo cual es esencial para módulos fotovoltaicos en ubicaciones aisladas o remotas. Además, LoRa es conocido por su bajo consumo energético, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde los recursos energéticos son limitados. Estas características coinciden perfectamente con los criterios más valorados en el análisis, como alcance y consumo energético.

WiFi: 3.90

WiFi recibió una puntuación alta, pero no tan alta como LoRa, aunque ofrece una buena conectividad y es versátil, su alcance es considerablemente menor comparado con LoRa. WiFi es adecuado para entornos donde la distancia de comunicación no es un factor crítico. Además, el consumo energético de WiFi puede ser mayor que el de tecnologías diseñadas para el largo alcance y eficiencia energética.

Zigbee: 3.60

Zigbee, similar al Bluetooth en puntuación, es apreciado por su bajo consumo de energía y su capacidad para formar redes de malla, lo que puede ser útil en algunos escenarios de aplicación modular. Sin embargo, su alcance limitado y la menor robustez en comparación con tecnologías como LoRa lo hacen menos ideal para entornos aislados.

Bluetooth: 3.60

Bluetooth también recibió una puntuación media, ya que, aunque es excelente para comunicaciones de corto alcance y es muy versátil y fácil de usar, su alcance limitado y capacidad para manejar datos a gran escala son menos adecuados para monitoreo remoto en aplicaciones de energía solar aisladas.

LTE: 3.05

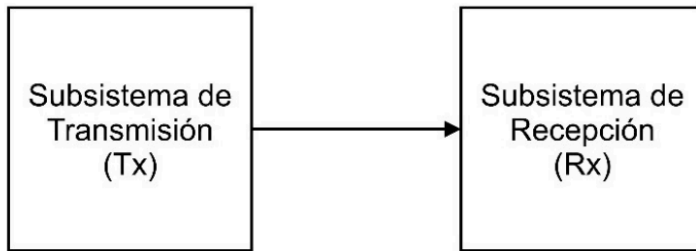
LTE, aunque es capaz de comunicarse a grandes distancias y soportar altos volúmenes de transferencia de datos, obtuvo la puntuación más baja. Esto puede deberse a su mayor consumo de energía comparado con tecnologías como LoRa y Zigbee, así como costos operativos más altos y menor facilidad de implementación en áreas remotas sin infraestructura celular existente.

4.1.2. Diseño del sistema de monitoreo a nivel hardware

²¹ En la Figura 19 se muestra el diagrama de bloques general del sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red, como se puede apreciar consta de dos bloques, el subsistema de transmisión (Tx) y el Subsistema de recepción (Rx).

Figura 19

21
Diagrama de bloques general del sistema de monitoreo



Nota. La figura muestra dos bloques que representan al subsistema de transmisión y al subsistema de recepción. Elaboración propia.

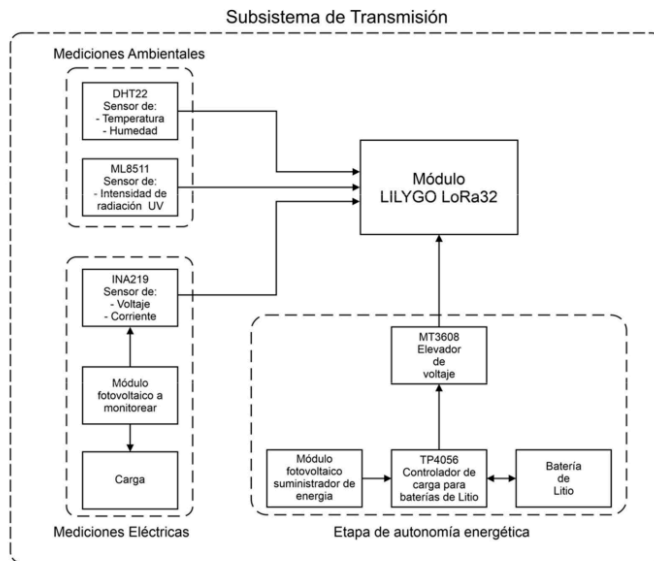
4.1.2.1. Subsistema de transmisión (Tx)

a. Subsistema propuesto

La Figura 20 representa el diagrama de bloques del subsistema de transmisión (Tx). Este subsistema pondera el monitoreo remoto donde la eficiencia, el consumo energético y la autonomía son críticos, especialmente en aplicaciones aisladas como módulos fotovoltaicos en ubicaciones remotas. Utilizar LoRaWAN permitió que el sistema transmitiera datos a larga distancia, lo que resultó ideal para áreas donde las conexiones de red tradicionales no eran viables o rentables.

Figura 20

21 Diagrama de bloques del subsistema de transmisión (Tx)



Nota. La figura muestra la interconexión de los componentes que integran el subsistema de transmisión. Elaboración propia.

18 El diagrama de bloques de la Figura 20 incorpora varios componentes específicos, cada uno con una función clave en el monitoreo y la gestión de la energía, en el subsistema de transmisión el componente principal es el módulo LILYGO LoRa32.

Módulo LILYGO LoRa32: Este módulo es el dispositivo principal de nuestro sistema de monitoreo, está compuesto por varios componentes, entre los que destacan es el ESP32 y el transceptor LoRa SX1276, este último es el encargado de enviar y/o recibir señales de forma inalámbrica. En nuestro subsistema de transmisión el transceptor LoRa está configurado para que pueda enviar datos. La

Tabla 6 muestra las características del módulo LILYGO LoRa32, en la Figura 21 se observa el aspecto físico y la Figura 22 detalla los pines de distribución. Con las que cuenta este módulo.

Tabla 6

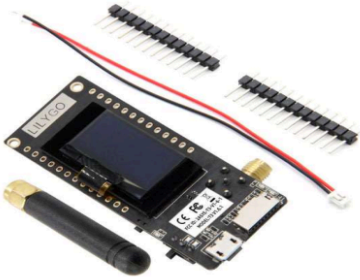
Características del módulo LILYGO LoRa32

Característica	Descripción
Microcontrolador	ESP32 (dual-core Tensilica LX6, hasta 240MHz)
Módulo LoRa	Semtech SX1276
Frecuencia LoRa	433MHz, 868MHz, 915MHz (dependiendo de la versión)
Potencia de transmisión LoRa	Hasta 20dBm (ajustable)
Sensibilidad LoRa	Hasta -148dBm
Antena	Antena cerámica integrada
WiFi	802.11 b/g/n (2.4GHz)
Bluetooth	Bluetooth 4.2 BLE
Pantalla	OLED de 0.96 pulgadas, 128x64 píxeles
Conectividad	Conector para batería LiPo (JST-PH 2.0)
Puertos	GPIO, I2C, SPI, UART, ADC, DAC
Memoria RAM	520KB SRAM
Memoria Flash	4MB (puede variar según la versión)
Interfaz de programación	Micro-USB
LEDs	LED RGB, LED de estado
Botones	Botón de reinicio y botón de usuario
Dimensiones	Aprox. 64 mm x 27mm
Alimentación	3.7V a 5V (a través de USB o batería LiPo)

Nota. La tabla detalla las características técnicas con las que cuenta el módulo LILYGO LoRa32. Adaptado de (LILYGO®, 2024)

Figura 21

Módulo LILYGO LoRa32



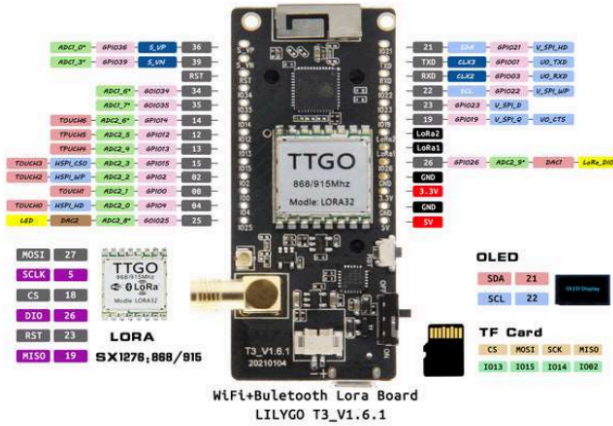
44

Nota. Aspecto físico del módulo LILYGO LoRa32. Adaptado de [LoRa32](#)

V2.1_1.6 [imagen], por (LILYGO®, 2024), (<https://www.lilygo.cc/products/lora3>)

Figura 22

Diagrama de pines del módulo LILYGO LoRa32



Nota. Distribución de los pines del módulo LILYGO LoRa32 versión T3_V1.6.1.

Adaptado de [LoRa32 V2.1_1.6](#) [imagen], por (LILYGO®, 2024),

(<https://www.lilygo.cc/products/lora3>)

Módulo ⁴² sensor de temperatura y humedad DHT22: Este módulo **es** el encargado **de** medir la temperatura y la humedad del aire. Fue utilizado para monitorear las condiciones ambientales que pueden ⁷⁸ **influir en la eficiencia de los** módulos fotovoltaicos, **la Tabla 7 muestra** las características y la Figura 23 en aspecto físico del sensor. de temperatura y humedad DHT22.

Tabla 7

Características del sensor DHT22

Característica	Descripción
Rango de humedad	0% - 100%
Precisi ²³ de humedad	±2-5% (dependiendo de la calibración y uso)
Rango de temperatura	-40°C a 80°C
Precisión de temperatura	±0.5°C
Resolución de humedad	0.1%
Resolución de temperatura	0.1°C
Tiempo de respuesta	2 segundos típicamente
Alimentación	3.3V - 6V DC
Corriente de funcionamiento	2.5mA máx. (durante las lecturas)
Comunicación	Salida digital única (protocolo de un solo cable)
Longitud del cable	20-50 cm típicamente
Dimensiones	15.1mm x 25mm x 7.7mm
Encapsulado	Plástico resistente al agua
Vida útil	Más de 10,000 lecturas

Nota. La tabla detalla las características técnicas con las que cuenta el sensor DHT22. Adaptado de (electromanía, 2023)

Figura 23

Sensor de Temperatura y Humedad AM2302



Nota: Aspecto real del sensor de temperatura y humedad DHT22. Adaptado de Sensor de Temperatura y Humedad AM2302 [imagen], por (electromanía, 2023), electromanía (<https://www.electromania.pe>)

Módulo sensor UV ML8511: Se empleaba para medir la intensidad de la radiación ultravioleta, una métrica útil para evaluar la exposición solar que recibía el módulo fotovoltaico. y correlacionarla con la eficiencia de la conversión fotovoltaica, la Tabla 8 detalla sus principales características y la Figura 8 muestra el módulo UV ML8511.

Tabla 8

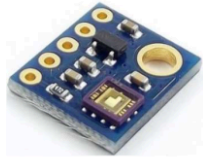
Características del sensor UV ML8511

Característica	Descripción
Tipo de sensor	Sensor de luz ultravioleta (UV)
Rango de medición	280 nm a 390 nm (UV-A, UV-B)
Voltaje de Operación	3.3V a 5V
Corriente de Operación	300 μ A típico
Salida	Analógica de 0V a 1V (Variable con la intensidad de la luz UV detectada)
Sensibilidad	0.16 mW/cm ² por cada mV de salida
Temperatura de Operación	-20°C a +70°C
Interfaz	Salida analógica directa que puede ser leída por un ADC
Dimensiones	Pequeño, apto para montaje en PCB, 12 mm x 12 mm x 2 mm

¹¹ Nota. La tabla da a conocer las características técnicas con las que cuenta el módulo sensor UV ML8511. Adaptado de (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023)

Figura 24

Módulo Sensor UV ML8511



Nota. La figura muestra la forma real del módulo sensor UV ML8511. Adaptado de Módulo Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511 [imagen], por (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023), NAYLAMP MECHATRONICS, (<https://naylampmechatronics.com/>)

Módulo sensor de corriente-voltaje INA219: Capaz de medir tanto la corriente como el voltaje, este sensor permitió monitorizar ³² la cantidad de energía producida por el módulo fotovoltaico aislado de la red y consumida por las cargas. ²⁹ En la tabla 9 se muestra las características y la Figura 25 al módulo INA219.

Tabla 9

Características del sensor de corriente-voltaje INA219

100	Característica	Descripción
	Rango de medición de corriente	±3.2A (máximo)
	Rango de medición de voltaje	0V a 26V
	Resolución de corriente	0.8mA (16-bit) o 0.1mA (12-bit)
	Resolución de voltaje	4mV (16-bit) o 1mV (12-bit)
	Precisión de corriente	±1%
	Precisión de voltaje	±1%
	Frecuencia de muestreo	Hasta 860 muestras por segundo
	Interfaz	I2C (hasta 3.4 MHz) o SPI (hasta 3.4 MHz)
	Alimentación	3.3V o 5V
	Consumo de corriente en espera	370µA típicamente
	Consumo de corriente durante la medición	<1mA típicamente
	Temperatura de funcionamiento	-40°C a 85°C
	Dimensiones	3mm x 3mm x 0.9mm (DIP) o 5mm x 4.9mm x 1.6mm (SMD)

Nota. La tabla detalla las características técnicas del sensor de corriente-voltaje INA219 Adaptado de (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023)

Figura 25

Módulo Sensor de Corriente-Voltaje INA219



Nota. Imagen real del módulo INA219. Adaptado de Monitor de corriente voltaje, high side INA219 [imagen], por (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023), NAYLAMP MECHATRONICS (<https://naylampmechatronics.com/>)

Módulo controlador de carga TP4056: Este módulo gestionaba la carga de las baterías de litio, su característica se muestra en la Tabla 10. Este módulo ofrece protección contra la sobrecarga y la descarga excesiva, ideal para manejar baterías pequeñas en sistemas portátiles o reducidos, la Figura 26 muestra el aspecto real de módulo TP4056.

Tabla 10

Características del controlador de carga TP4056

Característica	Descripción
Tipo de Dispositivo	Controlador de carga para baterías de litio
Voltaje de Operación	4.5 V a 5.5 V
Corriente de Carga	Ajustable hasta 1 A (típicamente 1 A predeterminado)
Método de Carga	Carga de una sola célula Li-Ion mediante algoritmo de carga CC/CV
Salida	Integrada con protección contra sobrecarga y descarga profunda
Características	Terminación automática de carga, reinicio automático de carga
Interfaz	Mínima cantidad de componentes externos necesarios
Dimensiones	Pequeño, adecuado para implementaciones compactas 28 mmx17mm
Aplicaciones	Cargadores de baterías de dispositivos portátiles, proyectos DIY
Protección	Incluye protección contra sobre corriente y corto circuito

Nota. La tabla muestra las características técnicas del controlador de carga TP4056. Adaptado de (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023)

Figura 26

Módulo Controlador de Carga TP4056



Nota. Forma real del controlador de carga TP4056. Adaptado de Módulo 03962A Cargador de batería litio TP4056 con protección micro-USB [imagen], por (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023), NAYLAMP MECHATRONICS (<https://naylampmechatronics.com/>)

Módulo DC-DC Step-Up MT3608: Este convertidor elevaba el voltaje de entrada a un valor superior, lo que permitía el uso de fuentes de baja tensión (como una batería de litio) para alimentar dispositivos que requerían un voltaje más alto, en la investigación se requiere elevar el voltaje, la Tabla 11 muestra sus características y la figura 27 su forma real.

Tabla 11

Características del Convertidor DC-DC Step-Up MT3608

Característica	Descripción
Nombre del Producto	Convertidor DC-DC Step-Up MT3608
Fig. de Dispositivo	Convertidor Boost (Elevador de Voltaje)
Voltaje de Entrada	2 V a 24 V
Voltaje de Salida	Ajustable hasta 28 V (máximo)
Corriente de Salida	Hasta 2 A (dependiendo de las condiciones de entrada y salida)
Eficiencia	Hasta 93%
Frecuencia de Operación	1.2 MHz
Salida	Voltaje ajustable mediante un potenciómetro externo
Características	Protección contra sobrecorriente y protección térmica
Interfaz	Configuración sencilla con componentes externos mínimos
Dimensiones	Muy pequeño, ideal para aplicaciones donde el espacio es limitado 36mmx17mmx7mm
Aplicaciones	Electrónica portátil, alimentación de circuitos de mayor voltaje desde baterías de bajo voltaje, proyectos DIY

Nota. La tabla detalla las características técnicas para el convertidor DC-DC Step-Up MT3608. Adaptado de (SAISAC MECATRONICA, 2024)

Figura 27

Módulo DC-DC Step-Up MT3608



Nota. Forma real del convertidor DC-DC Step-Up MT3608. Adaptado de Step up mt3608 con micro usb [imagen], por (SAISAC MECATRONICA, 2024), SAISAC MECATRONICA (<https://mcatronica.saisac.pe/>)

Batería de Litio 18650: Comúnmente utilizada en aplicaciones de almacenamiento de energía por su capacidad relativamente alta y su reusabilidad. Se usaba para almacenar la energía generada por el panel solar, la Tabla 12 y la Figura 28 muestra sus características y su aspecto real respectivamente.

Tabla 12

Características de la batería de litio 18650

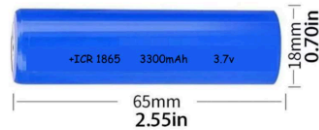
Característica	Descripción
Tipo de Batería	Batería de Litio-Ion (Li-Ion)
113 Modelo	18650
Capacidad Nominal	3300 mAh
Voltaje Nominal	3.7 V
Voltaje de Carga Máximo	4.2 V
Corriente de Descarga Máxima	Varía según el fabricante, comúnmente hasta 10 A en modelos de alta capacidad
Ciclo de Vida	500-1000 ciclos, dependiendo del uso y del cuidado
Dimensiones	Diámetro: 18 mm, Longitud: 65 mm
Peso	Aproximadamente 45 g
Protección	Algunos modelos incluyen un circuito de protección interno contra sobrecarga, sobre descarga y cortocircuito
Aplicaciones	Electrónica portátil, herramientas eléctricas, vehículos eléctricos, almacenamiento de energía solar

Nota. La tabla brinda las características técnicas de la batería de Litio 18650

Adaptado de (EDISEL TOOL STORE, 2023)

Figura 28

Batería de Litio 18650



Nota. Aspecto real de una batería de Litio 18650. Adaptado de Pila Batería Recargable De Li-ion 3.7 V 3300 Mah Icr18650 / Icr-18650 [imagen], por (EDISEL TOOL STORE, 2023), EDISEL TOOL STORE (<https://ediselts.com/>)

Módulo fotovoltaico (PV): Es la principal fuente de energía del subsistema de transmisión, porque transformaban la luz solar en electricidad, se utilizaba para cargar la batería de litio mediante el controlador de carga y posteriormente alimentar el subsistema. Para determinar el modulo fotovoltaico adecuado para el subsistema de transmisión se realizó en dimensionamiento correspondiente.

b. Dimensionamiento fotovoltaico para el subsistema de transmisión

Componentes y su Consumo Energético

Sensor de Temperatura DHT22

Consumo de corriente: 2.5 mA

Tensión de operación: 3.3V a 6V

Tiempo de operación: Continuo

Sensor de Corriente INA219

Consumo de corriente en operación: <1 mA

Tensión de operación: 3.3V a 5V

Tiempo de operación: Continuo

Sensor UV ML8511

Consumo de corriente: 300 μ A

Tensión de operación: 3.3V a 5V

Tiempo de operación: Continuo

Controlador de Carga TP4056

Consumo de corriente en operación: insignificante (principalmente cargando baterías)

DC-DC Step-Up MT3608

Eficiencia: 93%

Consumo de corriente: Depende de la carga

LoRa

Consumo de corriente en transmisión: Hasta 120 mA

Tensión de operación: 3.3V a 5V

Tiempo de transmisión: Depende de la frecuencia de transmisión (ej. 1% duty cycle)

ESP32

Consumo de corriente en operación: 160 mA (transmisión WiFi/LoRa), 20 mA en reposo

Tensión de operación: 3.3V

Tiempo de operación: Continuo con periodos de transmisión

Batería de Litio 18650

Capacidad: 3,300 mAh

Tensión nominal: 3.7V

Voltaje de carga: 4.2V

Cálculo del consumo energético total

Consumo de sensores (DHT22, INA219, ML8511)

$$Total: (2.5 + 1 + 0.3)mA = 3.8mA$$

Consumo del ESP32 y LoRa

$$\text{ESP32 y LoRa en operación:} = 160\text{mA}$$

LoRa en transmisión (asumimos 1% duty cycle para estimación)

$$120\text{mA} * 0.01 = 1.2\text{mA}$$

Entonces tenemos el consumo total del ESP32 y el módulo LoRa

$$\text{Total: ESP32 y LoRa: } 160\text{mA} + 1.2\text{mA} = 161.2\text{mA}$$

Consumo total de corriente

$$\text{Sensores + ESP32 y LoRa: } 3.8\text{mA} + 161.2\text{mA} = 165\text{mA}$$

Dimensionamiento de la batería

Energía diaria necesaria (para operar el sistema) :

$$165\text{mA} * 24\text{h} = 3,960\text{mAh por día}$$

Energía diaria necesaria ajustada por eficiencia del 95% de la batería

$$\frac{3,960\text{mAh}}{0.95} \approx 4,168\text{mAh por día}$$

Selección de batería

$$\text{Capacidad de la batería 18650: } 3,300\text{mAh}$$

Numero de baterías necesarias

$$\text{Días de autonomía deseada: } 1 \text{ día}$$

$$\text{Capacidad necesaria: } \frac{4,168\text{mAh}}{3,300\text{mAh}} \approx 1.26 \approx 2 \text{ baterías}$$

Entonces consideramos 2 baterías para garantizar un día completo de autonomía

Dimensionamiento del panel solar

*Energía diaria necesaria en Wh: $4,168mAh * 3.7V = 15.42Wh/día$*

Horas de sol pico (HSP): Supongamos 4 HSP al día

Potencia del panel solar

Necesitamos producir: 15.42Wh en 4 horas

$$Potencia\ del\ panel\ solar = \frac{15.42Wh}{4h} = 3.855W \approx 4W$$

(No se considera las pérdidas del sistema)

Consideración de eficiencia del sistema

Para tener en cuenta la eficiencia del sistema (incluso con pérdidas en el controlador de carga y otros componentes), asumiremos una eficiencia del 80% del sistema completo (batería, convertidores, etc.).

Potencia del panel solar con eficiencia del sistema del 80%:

$$Potencia\ del\ panel\ necesaria = \frac{4W}{0.8} = 4.94W \approx 5W$$

Consideración de un día de autonomía

Considerando la autonomía de 1 día, el panel debe ser de 10W

Panel fotovoltaico requerido

Viendo el cálculo que se hizo para determinar la potencia del panel solar, este debe ser de 10W para asegurar la producción necesaria de energía diaria, en un día de autonomía considerando 4 horas solar pico y una eficiencia del sistema del 80%.

En la tabla 13 se detalla las características del panel fotovoltaico de 12W, se consideró de esta potencia puesto que es el valor más cercano que se encontró en el mercado.

Tabla 13

Especificaciones de nuestro panel solar de 12W

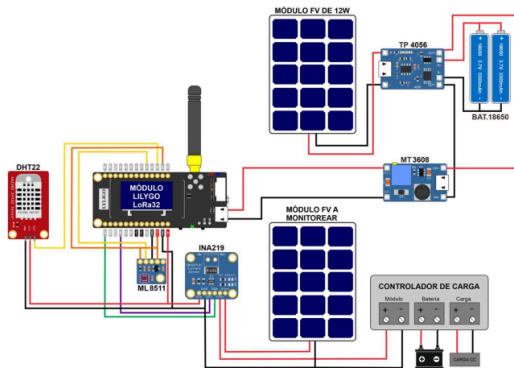
Características	Valor
Tipo de módulo	Módulo fotovoltaico policristalino
¹⁶³ Potencia máxima nominal [Pmax]	12 W
Tolerancia de salida	±3 %
Voltaje de Pmp [Vmp]	5 V ²²
Corriente en Pmp [Imp]	2.04 A
Voltaje de circuito abierto [Voc]	6.2 V
Corriente de corto circuito [Isc]	2.23 A
Peso	0.5 kg
Dimensiones	172 x 360 x 17mm

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas de un panel fotovoltaico de 12W. Elaboración propia.

Con los datos obtenidos sobre el dimensionamiento del módulo fotovoltaico que suministra energía al subsistema de transmisión y de la cantidad adecuada de baterías 18650 que es necesario, la Figura 29 muestra el diagrama de conexión ²⁵ de los componentes correspondientes al subsistema de transmisión.

Figura 29

Diagrama de conexión del subsistema de transmisión



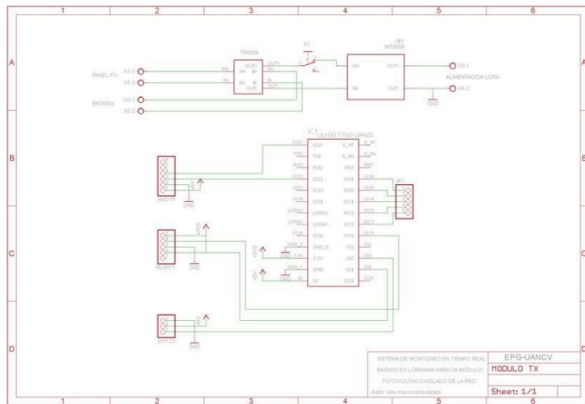
Nota. La figura detalla la interconexión de los componentes que integra el subsistema de transmisión. Elaboración propia.

c. Esquemático y diseño de la board.

En la figura 30 se muestra el esquemático de subsistema de transmisión (TX) el cual fue diseñado en el software Eagle, este esquema permite tener una visión clara para poder realizar la placa electrónica (board) donde irán distribuidos los diferentes componentes que integran el subsistema de transmisión.

Figura 30

Esquemático del subsistema de transmisión (TX)

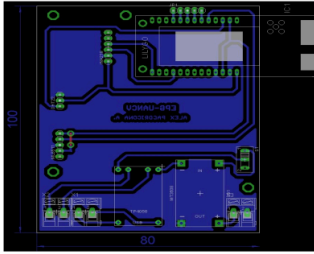


Nota. La figura muestra el diagrama esquemático correspondiente al subsistema de transmisión diseñado en el software Eagle. Elaboración propia.

Una vez realizado el esquemático el siguiente paso fue realizar la placa electrónica (board), el software Eagle nos brinda todas las herramientas necesarias para la elaboración y distribución de los diferentes componentes que comprende nuestro subsistema de transmisión, desde la utilización de su amplia gama componentes y dispositivos electrónicos hasta la creación de nuevos componentes si el software no lo tiene entre sus librerías, la Figura 31 muestra el diseño de la placa electrónica.

Figura 31

Diseño de la placa electrónica (Board) del subsistema de transmisión (TX)

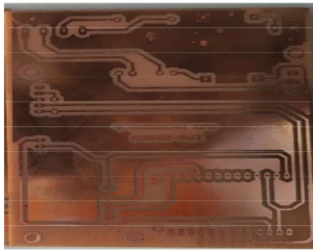


Nota. La figura muestra el diseño de la board para el subsistema de transmisión y los componentes que la integran. Elaboración propia.

El resultado de la placa electrónica del subsistema de transmisión se muestra en la Figura 32. Se realizaron pruebas exhaustivas de continuidad y funcionamiento de los componentes para asegurar la integridad y funcionalidad de la board.

Figura 32

Elaboración de la board en una placa de baquelita

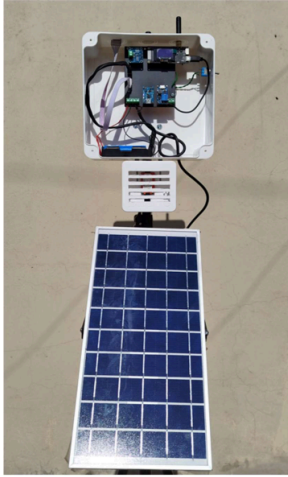


Nota. Resultado de board sobre una placa de baquelita. ¹⁰ Elaboración propia.

La Figura 33 muestra la implementación de la placa electrónica con todos los componentes que integran el subsistema de transmisión.

Figura 33

Implementación del Subsistema de transmisión



Nota. La figura muestra la implementación final del subsistema de transmisión para el sistema de monitoreo en tiempo real. Elaboración propia.

4.1.2.2. Subsistema de recepción (RX)

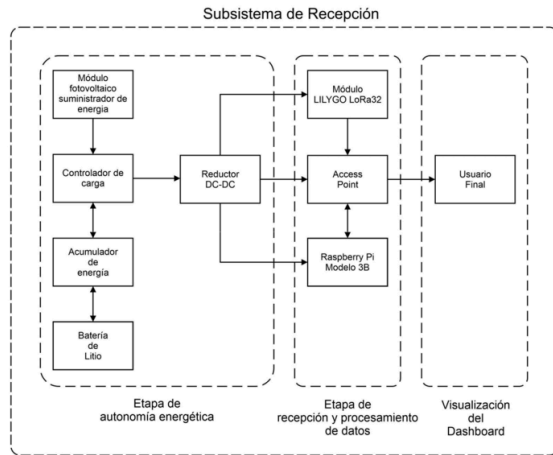
a. Subsistema propuesto

La figura 34 muestra el diagrama de bloques del subsistema de recepción (Rx), en el que interactúan los diversos componentes que lo integran, entre los que se destacan son: El módulo LILYGO LoRa32, que al igual que en el subsistema de transmisión, también es el componente principal en el subsistema

de recepción y comparte las mismas características de la Tabla 6, con la diferencia que en esta etapa está configurado para que pueda recibir los datos provenientes del subsistema de transmisión.

Figura 34

21 *Diagrama de bloques del subsistema de recepción (Rx)*



Nota. La figura muestra la interconexión de los componentes que integran el subsistema de recepción. Elaboración propia.

Por otro lado, se tiene los demás componentes que integran el subsistema de recepción como: La Raspberry Pi modelo 3B, el acceso point, el panel fotovoltaico, el controlador de carga, el acumulador de energía, la batería de litio y el reductor de voltaje.

Raspberry Pi 3B: La Raspberry Pi 3B actúa como un servidor y procesador de datos, su función es centralizar la información proveniente del módulo del

subsistema transmisión y que mediante el módulo de recepción LILYGO LoRa32 adquiere los datos para guardarla, procesarla y luego mostrarla a través de una Dashboard y de esta manera permite al usuario poder visualizar la información de manera amigable. En la tabla 14, se describen las características técnicas y en la Figura 35 se muestra su forma real.

Tabla 14

Características de la Raspberry Pi 3B

Especificación	Detalle
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
GPU	Broadcom VideoCore IV
Memoria RAM	1GB SDRAM LPDDR2
Conectividad	Gigabit Ethernet over USB 2.0 (máximo 300 Mbps) Wi-Fi 802.11b/g/n/ac inalámbrica, 2.4GHz y 5GHz Dual-band Ethernet RJ45 10/100 Base
GPIO	Bluetooth 4.2, BLE 40 pines GPIO
Puertos de video	HDMI, MIPI DSI display port
Puertos de audio	3.5mm analog audio-video jack, MIPI CSI camera port
Almacenamiento	MicroSD card slot para cargar sistema operativo y almacenamiento de datos
Alimentación	5V/2.5A DC via micro USB o GPIO
USB	4 × USB 2.0
Dimensiones	85.6 mm × 56.5 mm × 17 mm

Nota. La tabla detalla las características técnicas de la Raspberry Pi 3B.

Adaptado de (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023)

Figura 35*Raspberry Pi 3B*

Nota. Aspecto real de la Raspberry Pi 3B. Tomado de Raspberry Pi 3B

[imagen], por (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023), NAYLAMP MECHATRONICS, (<https://naylampmechatronics.com/>)

Access Point Huawei mobile WiFi E5573C: De la misma manera, las características del Access Point se muestran en la Tabla 15. El Access Point es un componente importante de nuestro subsistema de recepción (Rx) ya que es responsable de conectar la Raspberry Pi 3B con el módulo de recepción LILYGO LoRa32 que esta en el subsistema de recepción, también es responsable de la conexión del usuario final con la Raspberry Pi 3B, todo esto de manera inalámbrica, la Figura 36 muestra módulo Huawei Mobile WiFi E5573C.

Tabla 15

Características de Access Point (Huawei Mobile WiFi E5573C)

Especificación	Detalle
Comunicación Móvil	LTE/3G/2G
Velocidad de Descarga	LTE FDD: Descarga máxima hasta 150 Mbps
Velocidad de Subida	LTE FDD: Subida máxima hasta 50 Mbps
Conectividad Wi-Fi	802.11b/g/n; 2.4 GHz, hasta 16 dispositivos simultáneamente
Batería	1500 mAh (Extraíble, proporciona hasta 6 horas de uso)
Manejo	A través de la aplicación Huawei Mobile Wi-Fi
Seguridad Wi-Fi	WPA/WPA2, WEP, TKIP, y AES
Puertos	Micro USB, ranura para tarjeta SIM
Pantalla	LED para estado de señal, Wi-Fi, SMS, y batería
Dimensiones	96.8 mm x 58.0 mm x 12.8 mm
Peso	Aproximadamente 82 g (incluyendo la batería)

Nota. La tabla detalla las características técnicas del Access Point Huawei

Mobile WiFi E5573C. Adaptado de (HUAWEI, 2024)

Figura 36

Huawei Mobile WiFi E5573C



Nota. Aspecto real del Access Point Huawei Mobile WiFi E5573C. Tomado de

HUAWEI E5573 [imagen] por (HUAWEI, 2024), HUAWEI

(<https://consumer.huawei.com/mx/routers/e5573/>)

Controlado de carga Fangpusun PR1010: Se considera en el diseño a el controlador de carga Fangpusun PR1010 el cual es un regulador de carga PWM (Pulse Width Modulation) diseñado para sistemas de energía solar fotovoltaica.

Este módulo se encarga de controlar el almacenamiento de energía proveniente del panel fotovoltaico en el subsistema de recepción. ⁵⁹ En la tabla 16 se muestra sus características y en la Figura 37 una imagen ilustrativa de su forma real.

Tabla 16

Características del controlador solar Fangpusun PR1010 PWM

Especificación	Detalle
Voltaje Nominal	12V/24V
Voltaje de Circuito Abierto del Módulo	Menos de 47V
Corriente del Módulo	10A
Voltaje de Carga Final	Líquido ⁵⁷ 13.9V (27.8V); Gel 14.1V (28.2V)
Voltaje de Carga de Impulso	14.4V (28.8V)
Reconexión de Voltaje (SOC/LVR)	Más del 50% / 12.6V (25.2V)
Temperatura Ambiental	-10°C a +50°C
Protección	IP32
Certificaciones	CE, RoHS, ISO9001, SGS
Dimensiones	187 mm x 95 mm x 44 mm
Peso	Aproximadamente 350 g

Nota. La tabla detalla las características técnicas del controlador de carga solar Fangpusung PR1010. Adaptado de (fangpusun, 2021)

Figura 37

Controlador de carga Fangpusun PR1010



Nota. La figura muestra el controlador de carga Fangpusun PR1010. Adaptado de Controlador solar Fangpusun PR1010 PWM [imagen], por (fangpusun, 2021), fangpusun (<https://www.fangpusun.com/>)

Acumulador de energía BMS 3S: En la tabla 17 se observa las características del acumulador de energía BMS 3S. Este módulo se utilizó para una gestión adecuada de la energía en que se almacena en las baterías de litio que se utilizó en el subsistema de recepción. La figura 38 ilustra la forma de este módulo.

Tabla 17

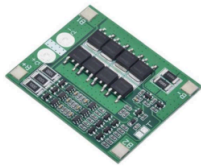
Características del acumulador de energía BMS 3S

Especificación	Detalle
Tipo de Celdas	18650 (Li-ion)
Número de Celdas	3
Configuración de las Celdas	2 celdas en paralelo (por celda principal)
Capacidad por Celda	3000 mAh (promedio)
Voltaje Nominal por Celda	3.7V
Capacidad Total del Acumulador	9000 mAh (3 x 3000 mAh por celda)
Voltaje Total del Acumulador	11.1V (3 x 3.7V en serie)
Voltaje de Carga Completa	12.6V
Ciclos de Vida	Aproximadamente 500 ciclos
Potencia Nominal	99.9 Wh (11.1V x 9 Ah)

Nota. Detalle de las características técnicas del acumulador de energía BMS 3S. Adaptado de (Bracsan, 2020)

Figura 38

16 *Módulo para carga de baterías de Li-ion BMS 3S*



Nota. Aspecto real del módulo para carga de baterías BMS 3S. Tomado de **16** *Módulo para carga de baterías de Li-ion BMS 3S 25A 11.1V/12V/12.6V 18650 BC-3S25A* [imagen] por (Bracsan, 2020), Bracsan (<https://bracsan.pe/>)

Reductor de voltaje DC-DC Xiaomi CC05ZM: En la tabla 18 se muestra las características del reductor DC-DC, el cual se usó para poder reducir el voltaje proveniente del controlador de cargar que es de 12vdc y transformarla a 5vdc, puesto que los componentes que se utilizan en el subsistema de recepción funcionan a un nivel de tensión de 5vdc. En la Figura 39 se ilustra este módulo.

Tabla 18

Reductor de voltaje DC DC CC05ZM

Especificación	Detalle
Entrada de Voltaje	12V DC
Salida de Voltaje	5V DC
Corriente de Salida	5A (máx.)
Eficiencia de Conversión	Hasta 96%
Protección	Contra sobrecarga, sobrecalentamiento, cortocircuito y polaridad inversa
Temperatura de Operación	0°C a +30°C
Enfriamiento	Refrigeración por aire (pasivo)
Tamaño	6.1 mm x 2.5 mm x 2.5 mm
Peso	Aproximadamente 20 g
Tipo de Conector	USB

Nota. Características del DC DC CC05ZM. Adaptado de (IMPACTO, 2024)

Figura 39

Reductor de voltaje Xiaomi CC05ZM



Nota. Reductor de voltaje DC DC CC05ZM. Adaptado de Cargador Xiaomi Para Autos [imagen], por (IMPACTO, 2024), IMPACTO (<https://www.impacto.com.pe/>)

Una vez mencionado las características de los distintos componentes que integran nuestro subsistema de recepción, tenemos que mencionar que, en el caso de las baterías de litio se utilizó de las mismas características que en el subsistema de transmisión, su característica se comparte con los de la Tabla 12. Al igual en el subsistema de transmisión, el sub sistema de recepción cuenta con un panel fotovoltaico que se encarga de suministrar energía eléctrica para el funcionamiento de los componentes. A continuación, se realiza en dimensionamiento del panel fotovoltaico para ser implementado en el sub sistema de recepción.

b. Dimensionamiento fotovoltaico del subsistema de recepción

Componentes y su Consumo Energético

Módulo LoRa (Receptor): 10 mA

ESP32: 160 mA

Access Point: 200 mA

Raspberry Pi: 280 mA

Consumo total de corriente:

$$\text{Módulo LoRa} + \text{ESP32} + \text{Access Point} + \text{Raspberr Pi}$$

$$10mA + 160mA + 200mA + 280mA = 650mA$$

Consumo ajustado por eficiencia del convertidor DC – DC (96%)

$$\text{Consumo total ajustado: } \frac{650mA}{0.96} \approx 677mA$$

Dimensionamiento de la batería

Energía diaria necesaria(para operar el sistema):

$$677mA * 24h = 16,248mAh$$

Energía diaria necesaria ajustada por eficiencia del 95% de la batería

$$\frac{16,248mAh}{0.95} \approx 17,103mAh \text{ por día}$$

Energía para cargar las baterías

Energía diaria para operar el sistema: 17,103mAh

Energía diaria para recargar completamente la batería: 17,103mAh

Energía total diaria necesaria = operar el sistema + recargar batería

$$17,103mAh + 17,103mAh = 34,206mAh$$

Selección de batería

Capacidad de la batería 18650: 3,300mAh

Numero de baterías necesarias

Días de autonomía deseada: 1 día

$$\text{Capacidad necesaria: } \frac{17,103mAh}{3300mAh} \approx 5.18 \approx 6$$

Entonces consideramos 6 baterías para garantizar un día completo de autonomía

Dimensionamiento del panel solar

$$\text{Energía diaria en Wh: } 34,206\text{mAh} * 3.7\text{V} = 126.562\text{Wh/día}$$

Horas de sol pico (HSP): Supongamos 4 HSP al día

Potencia del panel solar

Necesitamos producir: 126.562Wh en 4 horas

$$\text{Potencia del panel: } \frac{126.562\text{Wh}}{4\text{h}} = 31.64\text{W}$$

Para tener en cuenta la eficiencia del sistema (incluso con pérdidas en el controlador de carga y otros componentes), asumiremos una eficiencia del 80% del sistema completo (batería, convertidores, etc.).

$$\text{Potencia del panel necesaria} = \frac{31.64\text{W}}{0.8} = 39.55\text{W} \approx 40\text{W}$$

Panel fotovoltaico requerido.

El dimensionamiento realizado asegura que el subsistema de recepción pueda operar continuamente, con las baterías proporcionando energía para un día de autonomía y un panel fotovoltaico de al menos 40W, recargando a las baterías dentro de las horas pico solares con un margen adecuado para variaciones en la eficiencia y condiciones climáticas.

La tabla 19 observamos las características del panel fotovoltaico de 55W, se consideró de esta potencia puesto que es el valor más cercano al obtenido y es de un valor comercial.

Tabla 19

Especificaciones de nuestro panel solar de 55W

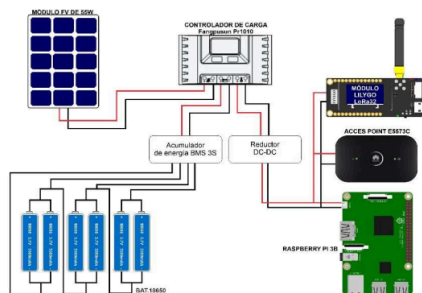
Características	Valor
Tipo de módulo	Módulo fotovoltaico monocristalino
Modelo	TPS-105S-55W
Potencia máxima nominal [Pmax]	55 W
Tolerancia de salida	±3 %
Voltaje de Pmp [Vmp]	17,2 V
Corriente en Pmp [Imp]	3.20 A
Voltaje de circuito abierto [Voc]	21.5 V
Corriente de corto circuito [Isc]	3.52A
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Peso	2,8 kg
Dimensiones	665 x 526 x 27mm

Nota. Especificaciones de un panel fotovoltaico de 55W. Elaboración propia.

Obtenidos los datos sobre el dimensionamiento del panel fotovoltaico y la cantidad necesaria de baterías de litio 18650, la Figura 40 muestra el diagrama de conexión de los componentes correspondientes al subsistema de recepción.

Figura 40

Diagrama de conexión del subsistema de recepción



Nota. Conexión de los componentes para el subsistema de recepción.

Elaboración propia.

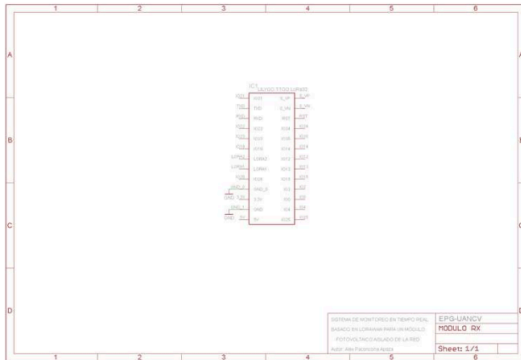
c. Esquemático y diseño de la board.

En la etapa del subsistema de recepción, solamente se tiene el módulo LILYGO LoRa32 empotrado en una placa de baquelita esto con la finalidad de que este fijo en el gabinete donde se implementó, los demás componentes fueron instalados muy independientemente por su tamaño y por su complejidad.

En la Figura 41 se muestra solo el esquema del componente LILYGO LoRa32 esto con la finalidad de realizar la board de manera correcta en el software Eagle.

Figura 41

Esquemático del módulo LILYGO LoRa32 en el software eagle

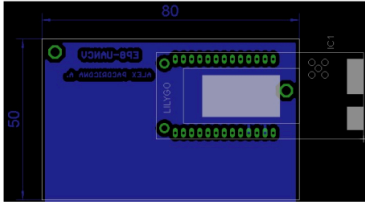


Nota. La figura muestra el circuito esquemático del módulo LILYGO LoRa32 realizado en el software Eagle. Elaboración propia.

La figura 42 muestra la board solo para el módulo LILYGO LoRa32. Se muestra sola puesto que es el único componente que va sobre una placa impresa, los demás elementos al ser módulos de mayor complejidad están implementados en sus propias board.

Figura 42

Diseño de la placa para el módulo LILYGO LoRa32

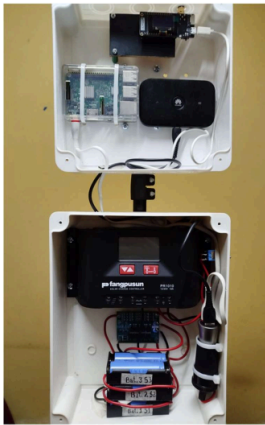


65
Nota. En la figura se muestra el diseño de la board donde va el módulo LILYGO LoRa32. Elaboración propia.

La figura 43 muestra al módulo LILYGO LoRa32 empotrado en su gabinete realizando sus primeras pruebas.

Figura 43

Implementación del Subsistema de recepción

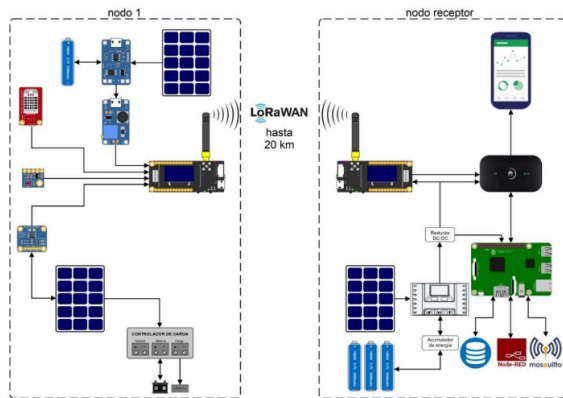


Nota. Implementación del subsistema de recepción. Elaboración propia.

Luego de realizar el dimensionamiento para los paneles fotovoltaicos y para la cantidad adecuada de baterías de litio, la Figura 44 muestra el diagrama general del sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red.

Figura 44

Diagrama general del sistema de monitoreo



Nota. La figura representa el diagrama final del sistema de monitoreo en tiempo real. Elaboración propia.

4.1.3. Diseño del sistema de monitoreo a nivel software

Al igual que en el diseño del sistema de monitoreo a nivel hardware y teniendo como referencia la Figura 19, en este apartado se desarrolló el procedimiento requerido a nivel software para el sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red.

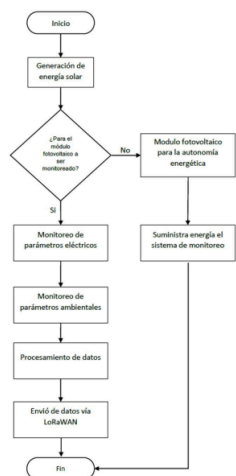
Se consideró el desarrollo tanto para el subsistema de transmisión (Tx) y para el subsistema de recepción (Rx).

4.1.3.1. Subsistema de transmisión (Tx)

El subsistema de transmisión cuenta con dos módulos fotovoltaicos, uno es para suministrar energía al sistema de monitoreo y el segundo es el módulo fotovoltaico donde se monitoreo los parámetros eléctricos y ambientales. En la Figura 45 se muestra en diagrama de flujos sobre el funcionamiento del subsistema de transmisión, en donde se observa que se tiene un módulo fotovoltaico muy independiente que sirvió como muestra para realizar el monitoreo, posterior a esto se procesó los datos y finalmente se envió los datos recopilados vía LoRaWAN.

Figura 45

Diagrama de flujos del funcionamiento del subsistema de transmisión

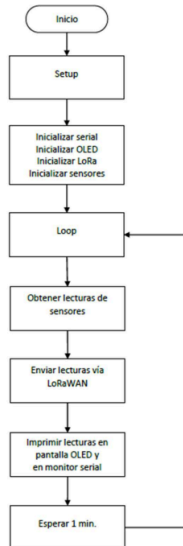


Nota. La figura representa el diagrama de flujos del proceso que se realiza en el subsistema de transmisión del sistema de monitoreo. Elaboración propia.

El módulo LILYGO LoRa32 cuenta con un microcontrolador ESP32 como se detalla en la Tabla 6, en el cual se implementó el programa para la recolección de datos de los sensores que están en el subsistema de transmisión, posterior a este proceso se envía los datos recopilados vía el transceptor LoRa1276 hacia el subsistema de recepción. En la figura 46 se detalla el proceso del diagrama de flujos para la elaboración del programa.

Figura 46

Diagrama de flujos del programa desarrollado en el IDE de Arduino, para el subsistema de transmisión



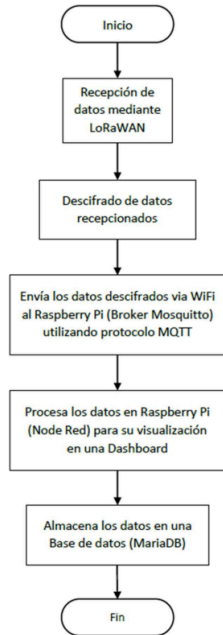
Nota. Diagrama de flujos para el programa en la etapa del subsistema de transmisión. Elaboración propia.

4.1.3.2. Subsistema de recepción (Rx)

En este apartado se da a conocer mediante un diagrama de flujos (Figura47), el proceso que sigue el subsistema de recepción para la recopilación de los datos que fueron obtenidos por los sensores en el subsistema de transmisión.

Figura 47

Diagrama de flujos del funcionamiento del subsistema de recepción

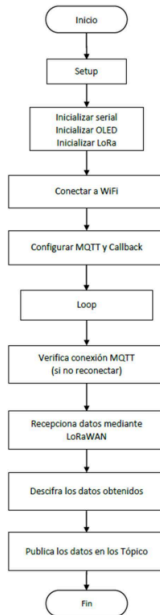


Nota. Proceso que realiza el subsistema de recepción. Elaboración propia.

En el subsistema de recepción también contamos con un módulo LILYGO LoRa32. La Figura 48 muestra el diagrama de flujos para el programa que se implementó en el IDE de Arduino para el subsistema de recepción.

Figura 48

Diagrama de flujos del programa desarrollado en el IDE de Arduino para el subsistema de recepción



Nota. La figura muestra el diagrama de flujos del programa que se implementó en la etapa del subsistema de recepción. Elaboración propia.

4.1.3.3. Desarrollo de la interfaz de usuario en Node-RED (Dashboard)

Para el Desarrollo de una Dashboard en Node-RED con la finalidad de que se pueda visualizar los parámetros eléctricos y ambientales del sistema de monitoreo, se llevaron varios pasos, desde la recolección, cifrado, transmisión, recepción, descifrado de datos hasta la representación gráfica en un entorno visual y amigable para el usuario. La Figura 49 muestra el procedimiento mediante un diagrama de flujos para la elaboración de la Dashboard el cual esta implementado sobre la Raspberry Pi 3B.

Figura 49

Diagrama de flujos para la elaboración de la Dashboard

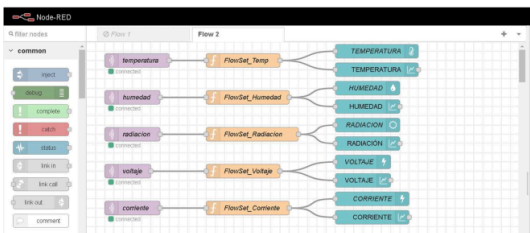


Nota. Proceso para la implementación de la Dashboard. Elaboración propia.

En la Figura 50 se muestra el procedimiento que se realizó en la plataforma de desarrollo Node-RED para la elaboración de la Dashboard, que es una representación visual y amigable para la monitorización de los datos obtenidos por los sensores.

Figura 50

Desarrollo de la interfaz gráfica en Node-RED



Nota. Programa en la plataforma de Node-RED. Elaboración propia.

La Figura 51 muestra el resultado final de la interfaz gráfica (Dashboard) para la visualización de los datos del sistema de monitoreo en tiempo real.

Figura 51

Resultado de la Dashboard para el sistema de monitoreo



Nota. Dashboard del sistema de monitoreo en tiempo real. Elaboración propia.

4.1.3.4. Implementación de la base de datos

La base de datos (DB) es fundamental para el sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red, puesto que es ahí donde se almacena los datos obtenidos por el subsistema de transmisión. La implementación de la DB se realizó sobre la Raspberry Pi 3B, se instaló como base de datos a MariaDB, el proceso que se siguió se muestra en el diagrama de flujos de la Figura 52.

Figura 52

Proceso para la implementación de la Base de Datos para el sistema de monitoreo

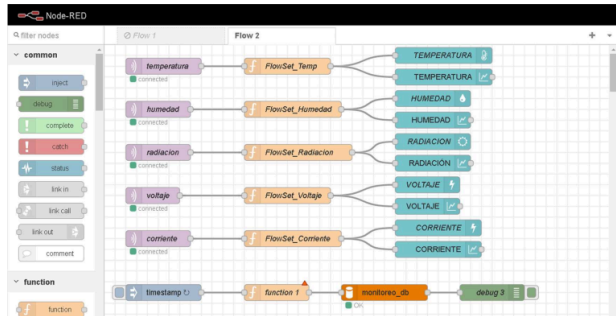


Nota. Procedimiento para la implementación de la base de datos del sistema de monitoreo. Elaboración propia.

La Figura 53, a diferencia de la Figura 50, muestra en la parte inferior la implementación de una base de datos

Figura 53

Desarrollo de la interfase gráfica en Node-RED y la base de datos MariaDB



Nota. La figura muestra en la parte inferior la implementación de la base de datos en Node-RED. Elaboración propia.

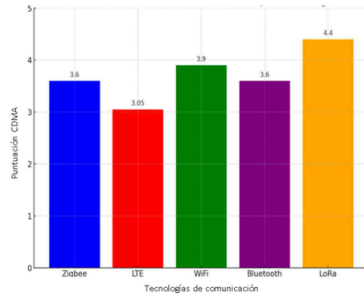
59 4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.1. Evaluación de tecnologías de comunicación

18 Los resultados del Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) que se representan en la Figura 54, revelaron las puntuaciones finales para cada tecnología de comunicación evaluada para el sistema de monitoreo de un módulo fotovoltaico aislado de la red, enseguida se da a conocer la interpretación de los resultados considerando cada tecnología.

Figura 54

Puntuación del MCDA para tecnologías de comunicación



Nota. El gráfico detalla los puntajes obtenidos mediante el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA). Elaboración propia.

A partir del análisis realizado utilizando el método de decisión multicriterio (MCDA), se ha evaluado la aplicabilidad de distintas tecnologías de comunicación para su uso en un módulo fotovoltaico aislado, considerando varios criterios esenciales como alcance, consumo energético, ancho de banda, costo de implementación, facilidad de uso y versatilidad.

LoRa (Long Range) emerge como la tecnología líder con una puntuación de 4.40 en el MCDA. Su eficacia se deriva principalmente de su excepcional alcance de hasta 15 km y su muy ⁴⁷ bajo consumo energético, lo que la hace ideal para aplicaciones de IoT a larga distancia en ubicaciones remotas o aisladas (Haxhibeqiri et al., 2018). Esto resalta la importancia de seleccionar tecnologías que no solo cubran grandes distancias, sino que también mantengan un bajo consumo de recursos, un factor crucial en entornos con acceso limitado a energía (Kuzlu et al., 2014).

WiFi, aunque no tan apto para distancias extremadamente largas como LoRa, sigue siendo una opción robusta (puntuación MCDA de 3.90), destacando por su alta versatilidad y facilidad de uso. WiFi es adecuado en entornos donde la infraestructura permite distancias de comunicación moderadas y un mayor consumo energético no es una limitante crítica (Kaur & Sood, 2017).

Por otro lado, Zigbee y Bluetooth, ambos con puntuaciones de 3.60, son preferibles en aplicaciones que requieren menos alcance, pero gran versatilidad y bajo consumo energético. Zigbee es notable en la implementación de redes de malla en domótica e IoT, mientras que Bluetooth se destaca en la interconexión de dispositivos personales debido a su interfaz sencilla y familiar (Collotta et al., 2018).

Finalmente, LTE, con la puntuación más baja de 3.05, aunque ofrece un amplio alcance y alto ancho de banda, se ve limitado por su consumo energético y alto costo de implementación, haciéndolo menos ideal para aplicaciones en áreas remotas sin infraestructura celular existente (Lema et al., 2017).

Este estudio subraya la importancia de elegir una tecnología de comunicación que no solo se alinee con los requisitos técnicos del entorno de aplicación, sino que también optimice los recursos disponibles, lo que es crucial en la implementación de soluciones sostenibles en el ámbito de las energías renovables.

4.2.2. Evaluación del sistema de monitoreo en tiempo real

Se realizó el monitoreo en tiempo real en base a la normativa IEC 61724, "Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis," que establece las directrices para el monitoreo del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Esta norma está dividida en varias

partes y cubre diversos aspectos del monitoreo de rendimiento, incluyendo la frecuencia de registro de datos.

a. Nivel básico (Clase A): Este es el nivel más básico y está orientado a pequeñas instalaciones o sistemas donde los requisitos de precisión no son muy elevados. Los datos pueden registrarse cada 10 a 15 minutos.

b. Nivel avanzado (Clase B): Para sistemas de mediano tamaño que requieren un monitoreo más detallado, los datos suelen registrarse cada 1 a 5 minutos.

c. Nivel de alta precisión (Clase C): Este es el nivel más alto y está destinado a instalaciones grandes y proyectos de investigación donde se necesita la mayor precisión posible. En este caso, los datos pueden registrarse cada segundo o cada minuto.

Para el caso del presente estudio se realizó las mediciones de acuerdo la clase B realizándose los registros cada 1 minuto.

4.2.2.1. Análisis de resultados de los parámetros eléctricos

La Tabla 20 muestra los datos correspondientes a los parámetros eléctricos que fueron recolectados por el módulo INA219 en el subsistema de transmisión, posteriormente fueron enviados mediante LoRaWAN al subsistema de recepción y almacenados en la base de datos para su evaluación (sistema propuesto). Por otra parte, se muestra los datos obtenidos mediante un multímetro digital Fluke 179. La medición se realizó en un panel fotovoltaico de 60W, se tomaron 50 muestras para su análisis e interpretación.

Determinación del margen de error y desviación estándar de las potencias:

Sistema Propuesto

Desviación Estándar: 1.75

Margen de Error: 0.484 (con un nivel de confianza del 95%)

Multímetro Digital Fluke 179

Desviación Estándar: 0.34

Margen de Error: 0.094 (con un nivel de confianza del 95%)

Interpretación:

Sistema Propuesto

La desviación estándar de 1.75 indica una mayor variabilidad en las mediciones de potencia.

El margen de error de 0.484 sugiere que, con un nivel de confianza del 95%, la media de las mediciones de potencia del sistema propuesto puede variar ± 0.484 W alrededor de la media observada.

Multímetro Digital Fluke 179

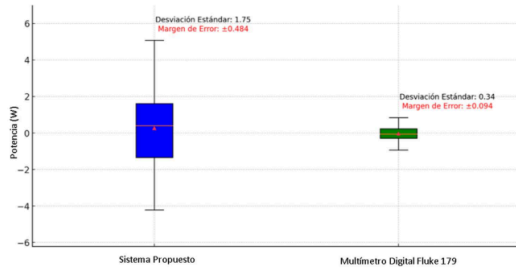
La desviación estándar de 0.34 muestra que las mediciones de potencia son mucho más consistentes y tienen menor variabilidad.

El margen de error de 0.094 indica que, con un nivel de confianza del 95%, la media de las mediciones de potencia con el multímetro digital Fluke 179 puede variar ± 0.094 W alrededor de la media observada.

La Figura 55 muestra la comparación de la desviación estándar y márgenes de error de las potencias, que se midió en el panel de 60W.

Figura 55

Comparación de la desviación estándar y márgenes de error de las potencias



Nota. Comparación de la desviación estándar y los márgenes de error respecto a las potencias obtenidas (Tabla 20). Elaboración propia

Conclusión

El sistema propuesto tiene una mayor variabilidad en sus mediciones de potencia en comparación con el multímetro digital Fluke 179.

El margen de error más amplio del sistema propuesto refleja esta mayor variabilidad y sugiere que sus mediciones son menos precisas.

El multímetro digital Fluke 179, con un margen de error mucho más estrecho, proporciona mediciones de potencia más precisas y consistentes.

4.2.2.2. Análisis de resultados de los parámetros ambientales

La Tabla 21 muestra los datos de la temperatura ambiente que fueron recolectados por el sensor DHT22 y que tuvo el mismo proceso que los parámetros eléctricos hasta ser almacenados en la base de datos. Por otro lado, se visualiza los datos de temperatura obtenidos por el multímetro digital Fluke 179. Se tomaron también 50 muestras.

Tabla 21

Comparación de datos de temperatura obtenidos con el sistema propuesto y el multímetro digital Fluke 179

Sistema Propuesto	Multímetro digital Fluke 179
Temperatura	Temperatura
15.5 °C	15.6 °C
15.6 °C	15.5 °C
15.7 °C	15.6 °C
15.8 °C	15.7 °C
15.9 °C	15.8 °C
15.6 °C	15.5 °C
15.5 °C	15.6 °C
15.7 °C	15.8 °C
15.8 °C	15.9 °C
15.6 °C	15.7 °C
15.7 °C	15.6 °C
15.8 °C	15.5 °C
15.5 °C	15.7 °C
15.6 °C	15.8 °C
15.8 °C	15.9 °C
15.7 °C	15.6 °C
15.5 °C	15.8 °C
15.9 °C	15.7 °C
15.6 °C	15.5 °C
15.8 °C	15.6 °C
15.7 °C	15.9 °C
15.9 °C	15.8 °C
15.5 °C	15.7 °C
15.6 °C	15.9 °C
15.8 °C	15.6 °C
15.9 °C	15.5 °C
15.6 °C	15.7 °C
15.7 °C	15.9 °C
15.8 °C	15.6 °C
15.9 °C	15.8 °C
15.5 °C	15.5 °C
15.6 °C	15.8 °C
15.7 °C	15.9 °C
15.8 °C	15.6 °C
15.9 °C	15.7 °C
15.6 °C	15.8 °C
15.7 °C	15.9 °C
15.8 °C	15.5 °C
15.9 °C	15.7 °C
15.5 °C	15.8 °C
15.6 °C	15.9 °C
15.7 °C	15.6 °C
15.8 °C	15.7 °C
15.9 °C	15.5 °C
15.5 °C	15.6 °C
15.6 °C	15.8 °C

Nota: Datos recolectados por el sistema propuesto y por el multímetro Fluke 179. Elaboración propia.

Determinación del margen de error y desviación estándar de las temperaturas.

Sistema Propuesto

Desviación Estándar: 0.14

Margen de Error: 0.039 (con un nivel de confianza del 95%)

Multímetro Digital Fluke 179

Desviación Estándar: 0.14

Margen de Error: 0.038 (con un nivel de confianza del 95%)

Interpretación:

Sistema Propuesto

La desviación estándar de 0.14 indica una baja variabilidad en las mediciones de temperatura.

El margen de error de 0.039 sugiere que, con un nivel de confianza del 95%, la media de las mediciones de temperatura del sistema propuesto puede variar $\pm 0.039^{\circ}\text{C}$ alrededor de la media observada.

Multímetro Digital Fluke 179

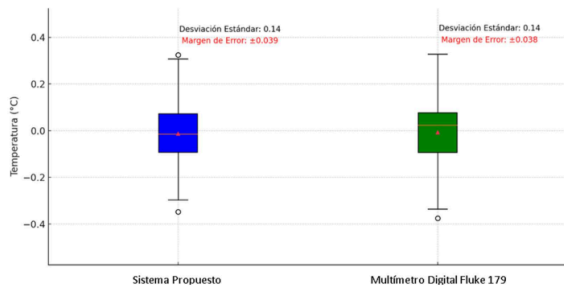
La desviación estándar de 0.14 muestra que las mediciones de temperatura son igualmente consistentes y tienen baja variabilidad.

El margen de error de 0.038 indica que, con un nivel de confianza del 95%, la media de las mediciones de temperatura con el multímetro Fluke 179 puede variar $\pm 0.038^{\circ}\text{C}$ alrededor de la media observada.

La Figura 56 muestra la comparación de desviación estándar y márgenes de error de la temperatura ambiente.

Figura 56

Comparación de la desviación estándar y margen de error de la temperatura ambiente



Nota. Comparación de la desviación estándar y los márgenes de error respecto a las temperaturas obtenidas (Tabla 20). Elaboración propia.

Conclusión

Tanto el sistema propuesto, como el multímetro digital Fluke 179 tienen baja variabilidad en sus mediciones de temperatura, reflejada en desviaciones estándar y márgenes de error similares.

El margen de error estrecho para ambos sistemas indica que las mediciones de temperatura son precisas y consistentes en ambos casos.

4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

a. Formulación de hipótesis

H_0 = El sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red es viable y puede proporcionar mediciones precisas.

⁹ H_a - El sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red no es viable y no puede proporcionar mediciones precisas.

b. Datos

Se tienen dos conjuntos de datos: uno para el sistema propuesto y otro realizado con el multímetro digital Fluke 179.

Se realizaron pruebas tanto para las mediciones de potencia (en vatios) como para las mediciones de temperatura (en grados Celsius).

c. Cálculo estadístico

El test t se calcula utilizando la diferencia entre las medias de los dos grupos, la varianza dentro de cada grupo y el tamaño de las muestras y tiene la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

- \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias de los dos grupos.
- s_1^2 y s_2^2 son las varianzas de los dos grupos.
- n_1 y n_2 son los tamaños de las muestras de los dos grupos.

d. Valor p

El valor p se utiliza para determinar la significancia estadística de los resultados. Un valor p menor que el nivel de significancia (generalmente 0.05) indica que se puede rechazar la hipótesis nula, sugiriendo que hay una diferencia significativa entre los grupos.

e. Resultados

Potencia:

Estadístico t: 1.979985

Valor p: 0.050510

Interpretación:

El valor p está justo en el límite de 0.05, pero se mantiene mayor a 0.05 por lo tanto se acepta H_0 .

Temperatura:

Estadístico t: 0.143036

Valor p: 0.886555

Interpretación:

El valor p es mucho mayor que 0.05, indicando que no hay una diferencia significativa entre las mediciones de temperatura de ambos sistemas por lo tanto se acepta H_0 .

f. Conclusiones

Como ambas mediciones tiene el valor p mayor a 0.05, entonces se acepta la hipótesis nula que dice que: El sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red es viable y puede proporcionar mediciones precisas.

DISCUSIÓN

PRIMERA. Finalmente, el sistema desarrollado contribuye al campo de las energías renovables, mejorando la eficiencia del monitoreo en tiempo real de instalaciones fotovoltaicas aisladas. Este avance permite una gestión más efectiva de la energía en áreas rurales, alineándose con los esfuerzos globales para reducir la brecha de acceso a la electricidad, como lo señala el Banco Mundial (2022). Además, el uso de LoRaWAN en este tipo de aplicaciones, al ser una tecnología económica y de fácil implementación, es respaldado por estudios como el de Kumar et al. (2018), quienes destacaron su potencial para optimizar el rendimiento de sistemas solares en zonas remotas.

SEGUNDA. La investigación alcanzó el primer objetivo específico al identificar y establecer el diseño óptimo para [un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando](#) LoRaWAN en un módulo fotovoltaico autónomo. El sistema desarrollado integra sensores para medir variables como temperatura, humedad, voltaje, corriente y radiación UV, permitiendo una transmisión eficiente de datos con bajo consumo energético. Este enfoque es consistente con estudios previos, como el de Mnati et al. (2020), quienes también utilizaron LoRaWAN en sistemas fotovoltaicos y destacaron su capacidad para transmitir datos a larga distancia. Además, la precisión en las mediciones obtenidas en este estudio, con márgenes de error reducidos, coincide con los hallazgos de Prauzek et al. (2022), quienes validaron la fiabilidad de esta tecnología en condiciones adversas.

TERCERA. El segundo objetivo se logró con el desarrollo de un prototipo funcional, que fue evaluado en diversas pruebas y demostró su capacidad para operar de manera autónoma utilizando energía solar y baterías. Los resultados revelaron una precisión comparable a las tomas medidas con el multímetro digital

Fluke 179, con errores mínimos en la medición de potencia y temperatura, lo que refuerza la viabilidad del sistema propuesto. Este hallazgo es coherente con el estudio de López et al. (2019), quienes también implementaron sistemas IoT de bajo coste para monitorear instalaciones fotovoltaicas en zonas aisladas, mostrando que esta tecnología puede ser aplicada exitosamente en contextos similares.

CONCLUSIONES

PRIMERA. Se logró desarrollar e implementar con éxito un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica. El sistema demostró ser viable y preciso, como lo evidencian las rigurosas pruebas estadísticas realizadas. Para las mediciones de potencia, se obtuvo un valor p de 0.050510, que está justo en el límite de significancia estadística (0.05). Esto indica que, aunque hay una ligera diferencia entre el sistema propuesto y las tomas realizadas con el multímetro digital Fluke 179, esta diferencia no es estadísticamente significativa, lo que valida la precisión del sistema desarrollado. En cuanto a las mediciones de temperatura, el valor p fue de 0.886555, lo que indica una alta similitud con el multímetro digital Fluke 179. Este resultado es particularmente importante, ya que la temperatura es un factor crítico en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos. La desviación estándar para las mediciones de potencia fue de 1.75W para el sistema propuesto y 0.34W para las tomas que se realizó con el multímetro digital Fluke 179. Aunque el sistema propuesto muestra una mayor variabilidad, sigue siendo aceptable para aplicaciones en campo. Para la temperatura, la desviación estándar fue de 0.14°C tanto para el sistema propuesto, como también para las mediciones que fueron realizadas con el multímetro digital Fluke 179, lo que demuestra una consistencia notable en las mediciones de temperatura. Estos resultados confirman que el sistema desarrollado puede proporcionar datos confiables y precisos sobre el rendimiento del módulo fotovoltaico en tiempo real, lo que es crucial para el monitoreo y mantenimiento efectivo de instalaciones fotovoltaicas en ubicaciones remotas o aisladas. En conclusión, el proyecto cumplió

exitosamente sus objetivos al desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN que es viable, preciso y adecuado para módulos fotovoltaicos autónomos y desconectados de la red eléctrica. El sistema ofrece una solución efectiva y confiable para el monitoreo remoto de instalaciones fotovoltaicas en áreas aisladas, con una precisión comparable a sistemas calibrados y una autonomía energética adecuada para su funcionamiento continuo.

SEGUNDA. Se identificó y estableció con éxito el diseño óptimo para el sistema de monitoreo utilizando tecnología LoRaWAN. Este logro se basó en un análisis de decisión multicriterio (MCDA) exhaustivo que evaluó diferentes tecnologías de comunicación considerando factores críticos como alcance, consumo energético, ancho de banda, costo de implementación, facilidad de uso y versatilidad. LoRa emergió como la tecnología más adecuada con una puntuación sobresaliente de 4.40 sobre 5, superando significativamente a otras tecnologías como WiFi (3.90), Zigbee y Bluetooth (ambas 3.60), y LTE (3.05). LoRa destacó especialmente por su excepcional alcance de hasta 15 km y su muy bajo consumo energético, características que son cruciales para aplicaciones en módulos fotovoltaicos aislados y autónomos. El diseño optimizado del subsistema de transmisión puede operar con un panel solar de 12W y dos baterías de Litio con una capacidad de 3300mAh, lo que demuestra su eficiencia energética. Para el subsistema de recepción, que requiere más potencia debido a sus funciones adicionales, se diseñó para operar con un panel de 55W y seis baterías de Litio con una capacidad de 3300mAh. Esta configuración asegura al menos un día completo de autonomía, lo que es esencial para mantener un monitoreo continuo incluso en condiciones de baja

irradiación solar. Este diseño optimizado no solo garantiza un rendimiento eficiente y confiable, sino que también demuestra la viabilidad de implementar sistemas de monitoreo avanzados en ubicaciones **73** remotas o de difícil acceso, donde **la** eficiencia **energética y la** autonomía son críticas.

TERCERA. Se desarrolló e implementó con éxito un prototipo funcional que demostró su eficacia en el monitoreo preciso y confiable de variables eléctricas y ambientales críticas para el rendimiento de módulos fotovoltaicos. El sistema propuesto mostró un margen de error de $\pm 0.484\text{W}$ para las mediciones de potencia y $\pm 0.039^\circ\text{C}$ para temperatura, **55** con un nivel de confianza del 95%. Estos **resultados** se comparan favorablemente **con** el multímetro digital Fluke 179, que tuvo márgenes de error de $\pm 0.094\text{W}$ para potencia y $\pm 0.038^\circ\text{C}$ para temperatura. Aunque el margen de error para la potencia es mayor en el sistema propuesto, sigue siendo aceptable para aplicaciones de monitoreo en campo, especialmente considerando las condiciones desafiantes en las que estos sistemas suelen operar. Las mediciones se realizaron cada minuto, cumpliendo con los estándares de la clase B de la normativa IEC 61724 para sistemas de mediano tamaño. Esta frecuencia de muestreo permite un monitoreo detallado del rendimiento del módulo fotovoltaico a lo largo del día, capturando fluctuaciones importantes en la producción de energía, el sistema demostró su robustez al operar de manera continua y autónoma, transmitiendo datos de forma fiable a través de la tecnología LoRaWAN. Esto valida la viabilidad del sistema para aplicaciones en locaciones remotas donde el acceso para mantenimiento puede ser limitado.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Para los desarrolladores de sistemas de energía renovable, se recomienda integrar sistemas de monitoreo basados en LoRaWAN en futuros proyectos de instalaciones fotovoltaicas aisladas. Los resultados de este estudio demuestran que la tecnología LoRaWAN ofrece un equilibrio óptimo entre alcance, consumo energético y precisión en las mediciones. Al implementar estos sistemas, se puede mejorar **significativamente la eficiencia operativa y el mantenimiento preventivo de** las instalaciones fotovoltaicas **en** áreas remotas. Consideren la configuración de 12W de panel solar y dos baterías de 3300mAh para el subsistema de transmisión como punto de partida, ajustando según las necesidades específicas de cada proyecto.

SEGUNDA. Para los organismos de normalización y regulación en el sector de energías renovables, se sugiere revisar y actualizar las normativas existentes, como la IEC 61724, para incluir específicamente los sistemas de monitoreo basados en tecnologías de largo alcance como LoRaWAN. Los resultados de este estudio muestran que estos sistemas pueden proporcionar mediciones precisas y confiables, cumpliendo con los estándares de la clase B para sistemas de mediano tamaño. La inclusión de estas tecnologías en las normativas facilitaría su adopción más amplia y estandarizada en la industria, mejorando la calidad y confiabilidad de los datos recopilados de instalaciones fotovoltaicas remotas.

TERCERA. Para los investigadores en el campo de las energías renovables, se recomienda continuar la investigación y desarrollo en la optimización de sistemas de monitoreo para instalaciones fotovoltaicas aisladas. Aunque este estudio demostró la viabilidad y precisión del sistema propuesto, hay margen

para mejorar, especialmente en la reducción del margen de error en las mediciones de potencia. Se sugiere explorar la integración de algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la precisión de las mediciones y desarrollar capacidades predictivas para el mantenimiento preventivo. Además, se recomienda investigar la escalabilidad del sistema para monitorear múltiples módulos fotovoltaicos simultáneamente, lo que podría ser crucial para instalaciones más grandes o dispersas geográficamente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Adhya, S., Saha, D., Das, A., Jana, J., & Saha, H. (2016). An IoT Based Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Control unit. 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC) An IoT Based Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Control Unit, 432–436. <https://doi.org/10.1109/CIEC.2016.7513793>
- Aguilar, S., & Merino, H. W. (2019). A Simulation of an IoT-based Solution Using LoRaWAN for Remote Stations of Peruvian Navy. Proceedings - 2019 IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2019. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM48065.2019.8937965>
- Ali, A., Ming, Y., Chakraborty, S., & Iram, S. (2017). A comprehensive survey on real-time applications of WSN. Future Internet, 9(4). <https://doi.org/10.3390/fi9040077>
- Aparicio, M. P. (s.f.). Energía solar fotovoltaica.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación-Introducción a la metodología científica (6ta Edición, Issue 112). Editorial EPISTEME, C.A.
- Bahill, T. (2000). What is Systems Engineering? IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 15(10), 9–10. <https://doi.org/10.1109/62.879392>
- ⁸³ Banco Mundial. (2022). Acceso a la electricidad. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>
- Banco Mundial-BIRF-AIF. (2022). Acceso a la electricidad (% de población) - Peru | Data. <https://datos.bancomundial.org/indicador/eg.elc.accs.zs?locations=PE>
- Barro, P. A., Zennaro, M., & Pietrosemoli, E. (2019). TLTN - The local things network: On the design of a LoRaWAN gateway with autonomous servers

- for disconnected communities. IFIP Wireless Days, 2019-April, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/WD.2019.8734239>
- Bosman, L. B., Leon-Salas, W. D., Hutzal, W., & Soto, E. A. (2020). PV system predictive maintenance: Challenges, current approaches, and opportunities. *Energies*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/en13061398>
- Bracsan. (2020). Modulo para carga de baterías de Li-ion BMS 3S. Obtenido de Bracsan: <https://bracsan.pe/producto/modulo-para-carga-de-baterias-de-li-ion-bms-3s-25a-11-1v-12v-12-6v-18650-bc-3s25a/>
- Collotta, M., Pau, G., Talty, T., & Tonguz, O. K. (2018). Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT. *IEEE Communications Magazine*, 56(7), 125–131. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700053>
- Días, J. P. (2015). *Sistemas de energías renovables*. Madrid, España: Paranifo, SA.
- Edisel Tool Store. (2023). Batería de Litio 18650. Obtenido de EDISEL TOOL STORE: https://ediselts.com/products/bateria-de-li-ion-3-7-v-3300-mah-icr18650-icr-18650?srsitid=AfmBOoq9M3RbDCD5tTSRAU-eabkU8tBd6mHg_BZ5-sh3g69A1eEGGnCs
- Electromanía. (2023). Sensor de Temperatura y Humedad AM2302. Obtenido de electromanía: <https://www.electromania.pe/producto/sensor-de-temperatura-y-humedad-am2302/>
- Encinas, S. H., Castañón, N. J. B., Mamani, V. S., Mamani, L. E. H., Paredes, R. I. T., Mamani, R. J. C., Molero, M. R. R., & Apaza, A. P. (2020). Photovoltaic charger system for mobile devices using quick charge 3.0 technology. [53 Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for](#)

- Ertürk, M. A., Aydın, M. A., Büyükkaslar, M. T., & Evirgen, H. (2019). A survey on blockchain technologies: Principles, applications, and challenges. *Future Internet*, 11(10), 216. <https://doi.org/10.3390/fi11100216>
- Fangpusun. (2021). Fangpusun LCD solar charge controller 12V 24V 10A PR1010. Obtenido de fangpusun: <https://www.pvsolartech.com/lcd-solar-charge-controller-12v-24v-10a-pr1010>
- Freris, L., & Infield, D. (2008). Renewable energy in power systems. In *Choice Reviews Online* (1st Editio, Vol. 46, Issue 08). John Wiley & Sons.
- Gallardo, E. (2017). Metodología de la Investigación: Manual Autoformativo Interactivo. In E. Gallardo Echenique & M. Córdova Solís (Eds.), *Universidad Continental* (1ra edició). Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf
- García, P. F. (2022). *Energía solar fotovoltaica para todos* (Vol. 2da edición). MARCOMBO.
- Haxhibeqiri, J., Poorter, E. De, Moerman, I., & † J. H. (2018). A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensor*, 18, 38. <https://doi.org/10.3390/s18113995>
- Horta, L. (2005). Perspectivas de sostenibilidad energética en los países de la Comunidad Andina. In *Recursos Naturales e Infraestructura* (83rd ed., Vol. 83, Issue 3). <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19539/lcl2169e.pdf>

- Huaquipaco, S., Beltran, N., Sarmiento, V., Pizarro, H., Cruz, J., Condori, R., Cutipa, J. R., Romero, C., & Achahuanco, N. (2020). Solar library. Proceedings of the ISES Solar World Congress 2019 and IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019, 2507–2513. <https://doi.org/10.18086/swc.2019.52.01>
- HUAWEI. (2024). HUAWEI E5573. Obtenido de HUAWEI: <https://consumer.huawei.com/mx/routers/e5573/>
- IMPACTO. (2024). Cargador xiaomi para autos , 2 puertos usb, compatible para ⁵⁶ ipad, sony, huawei, tabletas, teléfonos inteligentes, color plata (CC05ZM). Obtenido de IMPACTO: <https://www.impacto.com.pe/producto/cargador-xiaomi-para-autos-2-puertos-usb-compatible-para-ipad-sony-huawei-tabletas-tefornos-inteligentes-color-plata-cc05zm>
- Kaur, N., & Sood, S. K. (2017). An Energy-Efficient Architecture for the Internet of Things (IoT). IEEE Systems Journal, 11(2), 796–805. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2469676>
- Krantz, T., & Jonker, A. (⁷⁷ 24 de enero de 2024). ¿Qué es la tecnología sustentable? Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/sustainable-technology>
- Kumar, A., Saurabh, S., & Kumar, P. (2018). Internet of Things (IoT) in photovoltaic systems: Opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2913-2923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.044>
- Kumar, N. M., Atluri, K., & Palaparathi, S. (2018). Internet of Things (IoT) in Photovoltaic Systems. 2018 National Power Engineering Conference, NPEC 2018, 1–4. <https://doi.org/10.1109/NPEC.2018.8476807>

- Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.029>
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2017). *Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach (Second Ed)*. MIT Press.
- Lema, M. A., Laya, A., Mahmoodi, T., Cuevas, M., Sachs, J., Markendahl, J., & Dohler, M. (2017). Business Case and Technology Analysis for 5G Low Latency Applications. *IEEE Access*, 5, 5917–5935. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2685687>
- LILYGO®. (2024). Modulo LoRa 433/868/915 Mhz. Obtenido de LILYGO®: <https://www.lilygo.cc/products/lora3?variant=42272562282677>
- Lopez, A., Fuentes, M., & Vivar, M. (2019). IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino™ with 3G Connectivity. *IEEE Sensors Journal*, 19(2), 679–691. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2876635>
- López, M., Paredes, J., & Flores, R. (2019). Aplicación IoT para la monitorización en tiempo real de sistemas solares domésticos basada en Arduino™ con conectividad 3G. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(2), 502-511. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v9i2.9825.g9821>
- McEwen, A., & Cassimally, H. (2014). *Designing the Internet of Things*. Jhon Wiley and Sons, Ltd.
- Mills, J. (2012). Policies for the Future. In *Exchange Rate Alignments*. https://doi.org/10.1057/9781137022974_11

- Ministerio de Energía y Minas. (2018, September 21). Instalan más de 80 mil paneles solares en zonas rurales del Perú - Noticias - Ministerio de Energía y Minas - Gobierno del Perú. Gob.Pe. <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/19215-instalan-mas-de-80-mil-paneles-solares-en-zonas-rurales-del-peru>
- Mnati, M. J., Hammoodi, S. J., Altaie, H. T. R., Al-Youif, S., Ibrahim, M. N., & Van Den Bossche, A. (2020). Design and Implementation Low Cost of Photovoltaic Monitoring System Network Based on LoRaWAN. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 745(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012046>
- Mnati, M., Guerrero Zapata, J., & Ruiz, F. (2020). Design and implementation of a low-cost LoRaWAN-based photovoltaic monitoring system. IEEE Access, 8, 163679-163690. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022201>
- MQTT. (2022). MQTT: The Standard for IoT Messaging. Obtenido de MQTT: <https://mqtt.org/>
- Naylamp Mechatronics. (2023). Módulo 03962A Cargador de batería litio TP4056 con protección micro-USB. Obtenido de NAYLAMP MECHATRONICS: <https://naylampmechatronics.com/baterias/641-modulo-03962a-cargador-de-bateria-litio-tp4056-con-proteccion-micro-usb.html>
- Naylamp Mechatronics. (2023). Módulo Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511. Obtenido de NAYLAMP MECHATRONICS: <https://naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/169-modulo-sensor-de-luz-ultravioleta-uv-ml8511.html>

Naylamp Mechatronics. (2023). Monitor de corriente voltaje, high side INA219.

Obtenido de NAYLAMP MECHATRONICS:
<https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/559-monitor-de-corriente-voltaje-high-side.html>

Naylamp Mechatronics. (2023). Raspberry Pi 3B [descontinuado]. Obtenido de

Naylamp Mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/255-raspberry-pi-3-b.html>

Node-Red. (s.f.). Node-Red. Obtenido de Node-Red: <https://nodered.org/>

O'Brien, J. A., & Marakas, G. M. (2011). Management information systems (10th ed.). McGraw-Hill/Irwin.

Osinermin. (2019). Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la

Ruta del Perú Hacia la Transición Energética. In D. Schmerler Vainstein, J. C. Velarde Sacio, A. Rodríguez González, & B. Solís Sosa (Eds.), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Primera).

https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf

Paredes Caballero, J. (2021). Sistema de Generación Fotovoltaica:

Electrificación de la Isla Amantani, Lago Titicaca Puno. Revista IMG. <https://www.revistaimg.com/sistema-de-generacion-fotovoltaica-electrificacion-de-la-isla-amantani-lago-titicaca-puno/>

Pareja, M. (2016). Energía solar fotovoltaica-Cálculo de una instalación aislada

(Vol. Tercera edición). Barcelona: MARCOMCO, S.A.

Pasetti, M., Ferrari, P., Silva, D. R. C., Silva, I., & Sisinni, E. (2020). On the use

of LoRaWAN for the monitoring and control of distributed energy

- resources in a smart campus. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1), 1–27. <https://doi.org/10.3390/app10010320>
- Pasetti, M., Sisinni, E., Ferrari, P., Rinaldi, S., Depari, A., Bellagente, P., Giustina, D. Della, & Flammini, A. (2020). Evaluation of the use of class B LoRaWAN for the coordination of distributed interface protection systems in smart grids. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/jsan9010013>
- Prauzek, M., Konecny, P., & Svec, P. (2022). Energy-efficient wireless data transmission for LoRaWAN-based photovoltaic monitoring systems. *Wireless Personal Communications*, 122(3), 1923-1941. <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09289-7>
- Prauzek, M., Paterova, T., Stankus, M., Mikus, M., & Konecny, J. (2022). Analysis of LoRaWAN Transactions for TEG- Powered Environment-Monitoring Devices. *ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA*, 28(3), 3–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5755/j02.eie.31265>
- SAISAC MECATRONICA. (2024). Step uP MT3608 con micro USB. Obtenido de SAISAC MECATRONICA: <https://mcatronica.saisac.pe/producto/step-up-mt3608-con-micro-usb/>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta Edicio). McGraw-Hill.
- Sánchez, F., & Cano, A. (2021). Smart control and energy efficiency in irrigation systems using lorawan. *Sensors*, 21(21). <https://doi.org/10.3390/s21217041>

- Semtech Corporation. (2024). LoRaWAN Device Classes (Issue March).
<https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/lorawan-device-classes.pdf>
- ⁹² Semtech. (2020). Semtech SX1276 (Issue May).
<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1276>
- Semtech. (2024). LoRa® and LoRaWAN® (Issue March).
<https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/lora-and-lorawan.pdf>
- Semtech. (2024). *What is LoRa®?* Recuperado el 7 de octubre de 2024, de Platform for IoT: <https://www.semtech.com/lora>
- Shariff, F., Rahim, N. A., & Hew, W. P. (2015). Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1730–1742.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.007>
- Singh, G. K. (2013). Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*, 53, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software (9na Edición)*. Pearson.
- Stallings, W. (2014). *Data and computer communications (10th Editi)*. Pearson.
- Stallings, W. (2016). *Computer Organization and Architecture - Designing for Performance (10th Editi, Issue 112)*. Pearson.
- Tomasi, W. (2003). *Sistema de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.
- Twidell, J., & Weir, T. (2006). *Renewable Energy Resources (2nd Editi)*. Taylor & Francis.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Título: Sistema de monitoreo en tiempo real basado en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico aislado de la red. Autor: Alex Pacoricona Apaza

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
<p>Problema General:</p> <p>P.G.: ¿Cómo se puede implementar un sistema de monitoreo en tiempo real en LoRaWAN para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>O.G.: Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>H.G.: El sistema de monitoreo en tiempo real basado en la tecnología LoRaWAN es viable y puede proporcionar mediciones precisas para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica.</p>	<p>Variables</p> <p>Variable 1: Módulo fotovoltaico aislado de la red.</p>	<p>Definición</p> <p>El módulo fotovoltaico aislado es un tipo de generación energética autónoma que suministra de energía eléctrica a un espacio delimitado el cual no depende de la conexión a la red de distribución eléctrica.</p>	<p>Dimensiones</p> <p>Eléctricos</p>	<p>Indicadores</p> <p>Voltaje</p> <p>Corriente</p> <p>Temperatura</p> <p>Humedad</p>
<p>Problemas Específicos:</p> <p>P.E.1: ¿Cuál es el diseño óptimo para un sistema de monitoreo en tiempo real basado en tecnología LoRaWAN en un módulo fotovoltaico autónomo y desconectado de la red eléctrica?</p> <p>P.E.2: ¿Cómo se puede implementar un prototipo de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en tecnología LoRaWAN para un módulo autónomo y desconectado de la red eléctrica?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>O.E.1: Identificar y diseñar el diseño óptimo para un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN en un módulo autónomo y desconectado de la red eléctrica.</p> <p>O.E.2: Desarrollar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo autónomo y desconectado de la red eléctrica.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>H.E.1: Es posible diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo fotovoltaico que opere de manera autónoma y esté desconectado de la red eléctrica.</p> <p>H.E.2: Se puede desarrollar e implementar un prototipo funcional de un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando tecnología LoRaWAN para un módulo autónomo y desconectado de la red eléctrica.</p>	<p>Variables</p> <p>Variable 2: Sistema de monitoreo basado en LoRaWAN.</p>	<p>Definición</p> <p>El sistema de monitoreo es la combinación de hardware y software que permite la recolección de datos de sensores eléctricos y ambientales del módulo fotovoltaico, para la eficiente operación y mantenimiento de los componentes monitorizados.</p>	<p>Dimensiones</p> <p>Consumo energético</p>	<p>Indicadores</p> <p>Radiación</p> <p>Watts/Hora</p>

ANEXO 2: Instrumentos de la Investigación

INA219



INA219

SBO344B – AUGUST 2008 – REVISED DECEMBER 2015

INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I²C Interface

1 Features

- Senses Bus Voltages from 0 to 26 V
- Reports Current, Voltage, and Power
- 16 Programmable Addresses
- High Accuracy: 0.5% (Maximum) Over Temperature (INA219B)
- Filtering Options
- Calibration Registers
- SOT23-8 and SOIC-8 Packages

2 Applications

- Servers
- Telecom Equipment
- Notebook Computers
- Power Management
- Battery Chargers
- Welding Equipment
- Power Supplies
- Test Equipment

3 Description

The INA219 is a current shunt and power monitor with an I²C- or SMBUS-compatible interface. The device monitors both shunt voltage drop and bus supply voltage, with programmable conversion times and filtering. A programmable calibration value, combined with an internal multiplier, enables direct readouts of current in amperes. An additional multiplying register calculates power in watts. The I²C- or SMBUS-compatible interface features 16 programmable addresses.

The INA219 is available in two grades: A and B. The B grade version has higher accuracy and higher precision specifications.

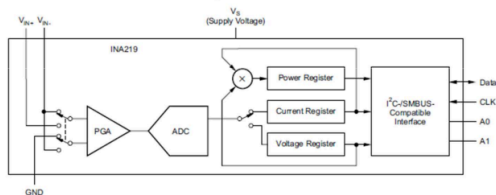
The INA219 senses across shunts on buses that can vary from 0 to 26 V. The device uses a single 3- to 5.5-V supply, drawing a maximum of 1 mA of supply current. The INA219 operates from –40°C to 125°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
INA219	SOIC (8)	3.91 mm × 4.90 mm
	SOT-23 (8)	1.63 mm × 2.90 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

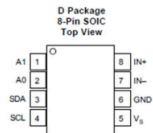
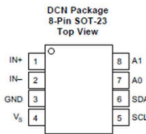
Simplified Schematic



5 Related Products

DEVICE	DESCRIPTION
INA209	Current/power monitor with watchdog, peak-hold, and fast comparator functions
INA210, INA211, INA212, INA213, INA214	Zero-drift, low-cost, analog current shunt monitor series in small package

6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	SOT-23	SOIC		
IN+	1	8	Analog Input	Positive differential shunt voltage. Connect to positive side of shunt resistor.
IN-	2	7	Analog Input	Negative differential shunt voltage. Connect to negative side of shunt resistor. Bus voltage is measured from this pin to ground.
GND	3	6	Analog	Ground
VS	4	5	Analog	Power supply, 3 to 5.5 V
SCL	5	4	Digital Input	Serial bus clock line
SDA	6	3	Digital I/O	Serial bus data line
A0	7	2	Digital Input	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.
A1	8	1	Digital Input	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.



INA219

SBOG449G – AUGUST 2008 – REVISED DECEMBER 2015

www.ti.com

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

	MIN	MAX	UNIT
V_S		6	V
Supply voltage		6	V
Analog inputs		26	V
IN^+ , IN^-	-26	26	V
Differential ($V_{IN^+} - V_{IN^-}$) ⁽²⁾		26	V
Common-mode ($(V_{IN^+} + V_{IN^-}) / 2$)	-0.3	26	V
SDA	GND - 0.3	6	V
SCL	GND - 0.3	$V_S + 0.3$	V
Input current into any pin		5	mA
Open-drain digital output current		10	mA
Operating temperature	-40	125	°C
T_J		150	°C
Junction temperature		150	°C
T_{STG}	-65	150	°C
Storage temperature		150	°C

(1) Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under Recommended Operating Conditions. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) V_{IN^+} and V_{IN^-} may have a differential voltage of -26 to 26 V; however, the voltage at these pins must not exceed the range -0.3 to 26 V.

7.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V_{ESD} Electrostatic discharge	±4000	V
Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins ⁽¹⁾		
Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins ⁽²⁾	±750	V
Machine Model (MM)	±200	V

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CM}		12		V
V_S		3.3		V
T_A	-25		85	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	INA219		UNIT
	D (SOIC)	DCN (SOT)	
	8 PINS	8 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	111.3	135.4	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance	55.9	68.1	°C/W
$R_{\theta JB}$ Junction-to-board thermal resistance	52	48.9	°C/W
ψ_{JT} Junction-to-top characterization parameter	10.7	9.9	°C/W
ψ_{JB} Junction-to-board characterization parameter	51.5	48.4	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$ Junction-to-case (bottom) thermal resistance	N/A	N/A	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the Semiconductor and IC Package Thermal Metrics application report, SPRAG93.



7.5 Electrical Characteristics:

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_B = 3.3\text{ V}$, $V_{IN+} = 12\text{ V}$, $V_{SHUNT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{ mV}$, $\text{PGA} = /1$, and $\text{BRNG}^{(1)} = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219A			INA219B			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
V_{SHUNT}	Full-scale current sense (input) voltage range	PGA = /1	0	±40	0	±40		mV
		PGA = /2	0	±80	0	±80		mV
		PGA = /4	0	±160	0	±160		mV
		PGA = /8	0	±320	0	±320		mV
Bus voltage (input voltage) range ⁽²⁾	BRNG = 1	0	32	0	32		V	
	BRNG = 0	0	16	0	16		V	
CMRR	Common-mode rejection	$V_{IN+} = 0$ to 26 V	100	120	100	120		dB
V_{OS}	Offset voltage, RTI ⁽³⁾	PGA = /1	±10	±100	±10	±50 ⁽⁴⁾		µV
		PGA = /2	±20	±125	±20	±75 ⁽⁴⁾		µV
		PGA = /4	±30	±150	±30	±75 ⁽⁴⁾		µV
		PGA = /8	±40	±200	±40	±100 ⁽⁴⁾		µV
	vs Temperature	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 85°C	0.1		0.1			µV/°C
PSRR	vs Power Supply	$V_B = 3$ to 5.5 V	10		10			µV/V
Current sense gain error	vs Temperature	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 85°C	±40		±40			m%
	vs Temperature	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 85°C	1		1			m%/°C
IN+ pin input bias current	Active mode		20		20			µA
IN- pin input bias current V_{IN-} pin input impedance	Active mode		20 320		20 320			µA kΩ
IN+ pin input leakage ⁽⁵⁾	Power-down mode		0.1	±0.5	0.1	±0.5		µA
IN- pin input leakage ⁽⁵⁾	Power-down mode		0.1	±0.5	0.1	±0.5		µA
DC ACCURACY								
ADC basic resolution			12		12			bits
Shunt voltage, 1 LSB step size			10		10			µV
Bus voltage, 1 LSB step size			4		4			mV
Current measurement error			±0.2%	±0.5%	±0.2%	±0.3% ⁽⁴⁾		
	over Temperature	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 85°C		±1%		±0.5% ⁽⁴⁾		
Bus voltage measurement error			±0.2%	±0.5%	±0.2%	±0.5%		
	over Temperature	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 85°C		±1%		±1%		
Differential nonlinearity			±0.1		±0.1			LSB
ADC TIMING								
ADC conversion time	12 bit		532	586	532	586		µs
	11 bit		276	304	276	304		µs
	10 bit		148	163	148	163		µs
	9 bit		84	93	84	93		µs
Minimum convert input low time		4		4				µs
SMBus								
SMBus timeout ⁽⁶⁾			28	35	28	35		ms
DIGITAL INPUTS (SDA as Input, SCL, A0, A1)								
Input capacitance			3		3			pF
Leakage input current	$0 \leq V_{IN} \leq V_B$		0.1	1	0.1	1		µA
V_{IH} input logic level		0.7 (V_B)		6	0.7 (V_B)		6	V
V_{IL} input logic level		-0.3	0.3 (V_B)		-0.3	0.3 (V_B)		V

(1) BRNG is bit 13 of the Configuration register 00h in Figure 19.

(2) This parameter only expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than 26 V be applied to this device.

(3) Referred-to-input (RTI)

(4) Indicates improved specifications of the INA219B.

(5) Input leakage is positive (current flowing into the pin) for the conditions shown at the top of the table. Negative leakage currents can occur under different input conditions.

(6) SMBus timeout in the INA219 resets the interface any time SCL or SDA is low for over 28 ms.



INA219

SBOG449G – AUGUST 2008 – REVISED DECEMBER 2015

www.ti.com

Electrical Characteristics: (continued)

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 3.3\text{ V}$, $V_{IN+} = 12\text{ V}$, $V_{SHUNT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{ mV}$, $\text{PGA} = /1$, and $\text{BRNG}^{(1)} = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219A			INA219B			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Hysteresis			500			500		mV
OPEN-DRAIN DIGITAL OUTPUTS (SDA)								
Logic 0 output level	$I_{SDA} = 3\text{ mA}$		0.15	0.4		0.15	0.4	V
High-level output leakage current	$V_{OUT} = V_S$		0.1	1		0.1	1	μA
POWER SUPPLY								
Operating supply range		3		5.5	3		5.5	V
Quiescent current			0.7	1		0.7	1	mA
Quiescent current, power-down mode			6	15		6	15	μA
Power-on reset threshold			2			2		V

7.6 Bus Timing Diagram Definitions⁽¹⁾

		FAST MODE		HIGH-SPEED MODE		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
$f_{(SCL)}$	SCL operating frequency	0.001	0.4	0.001	2.56	MHz
$t_{(BUF)}$	Bus free time between STOP and START condition	1300		160		ns
$t_{(HOLDSTA)}$	Hold time after repeated START condition. After this period, the first clock is generated.	600		160		ns
$t_{(SUSTA)}$	Repeated START condition setup time	600		160		ns
$t_{(SUSTO)}$	STOP condition setup time	600		160		ns
$t_{(HOLDAT)}$	Data hold time	0	900	0	90	ns
$t_{(SDAT)}$	Data setup time	100		10		ns
$t_{(LOW)}$	SCL clock LOW period	1300		250		ns
$t_{(HIGH)}$	SCL clock HIGH period	600		60		ns
$t_{(pDA)}$	Data fall time		300		150	ns
$t_{(pCL)}$	Clock fall time		300		40	ns
$t_{(rCL)}$	Clock rise time		300		40	ns
$t_{(rCL)}$	Clock rise time for SCLK $\leq 100\text{kHz}$		1000			ns

(1) Values based on a statistical analysis of a one-time sample of devices. Minimum and maximum values are not ensured and not production tested.

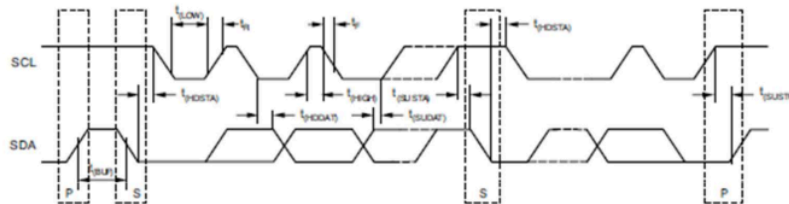


Figure 1. Bus Timing Diagram

7.7 Typical Characteristics

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 3.3\text{ V}$, $V_{IN+} = 12\text{ V}$, $V_{SHUNT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{ mV}$, $\text{PGA} = /1$, and $\text{BRNG} = 1$, unless otherwise noted.

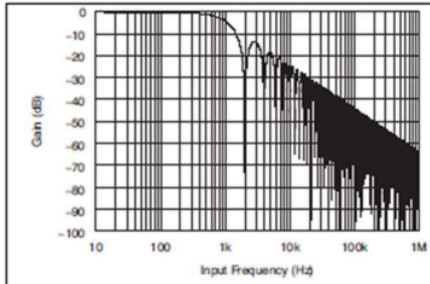


Figure 2. Frequency Response

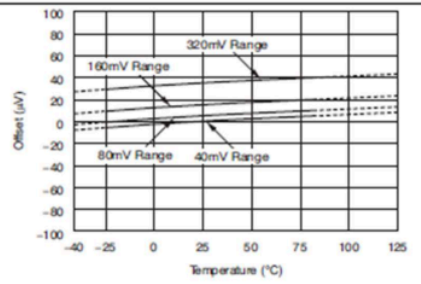


Figure 3. ADC Shunt Offset vs Temperature

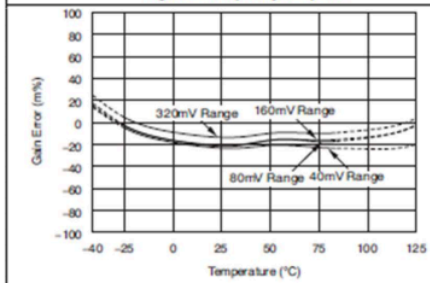


Figure 4. ADC Shunt Gain Error vs Temperature

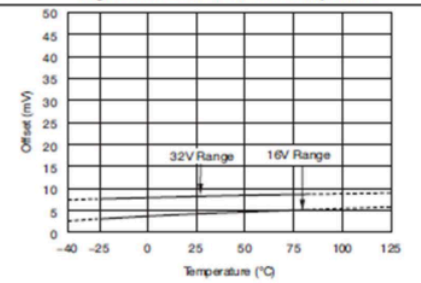


Figure 5. ADC Bus Voltage Offset vs Temperature

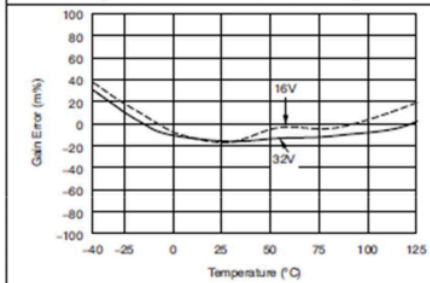


Figure 6. ADC Bus Gain Error vs Temperature

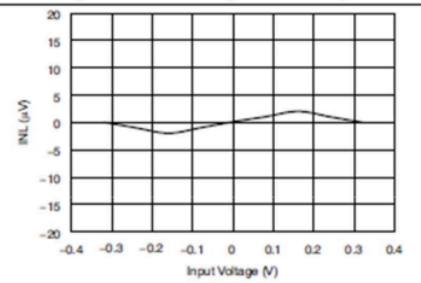


Figure 7. Integral Nonlinearity vs Input Voltage

INA219

SBOS448G –AUGUST 2008–REVISED DECEMBER 2015

www.ti.com

Typical Characteristics (continued)

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 3.3\text{ V}$, $V_{IN+} = 12\text{ V}$, $V_{SHUNT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{ mV}$, $\text{PGA} = /1$, and $\text{BRNG} = 1$, unless otherwise noted.

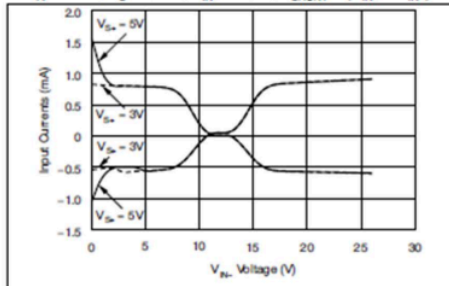


Figure 8. Input Currents With Large Differential Voltages (V_{IN+} at 12 V, Sweep Of V_{IN+})

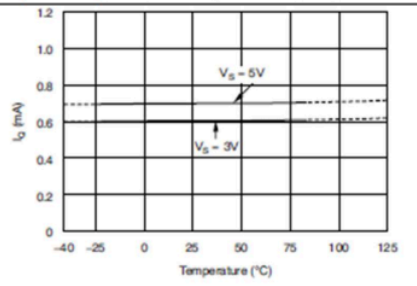


Figure 9. Active I_Q vs Temperature

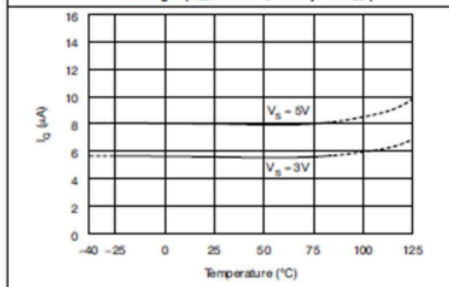


Figure 10. Shutdown I_Q vs Temperature

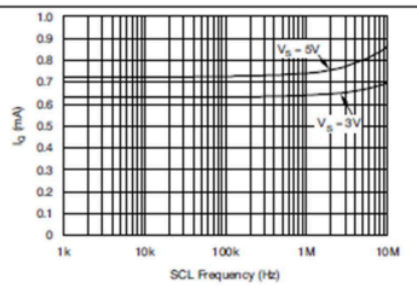


Figure 11. Active I_Q vs I²C Clock Frequency

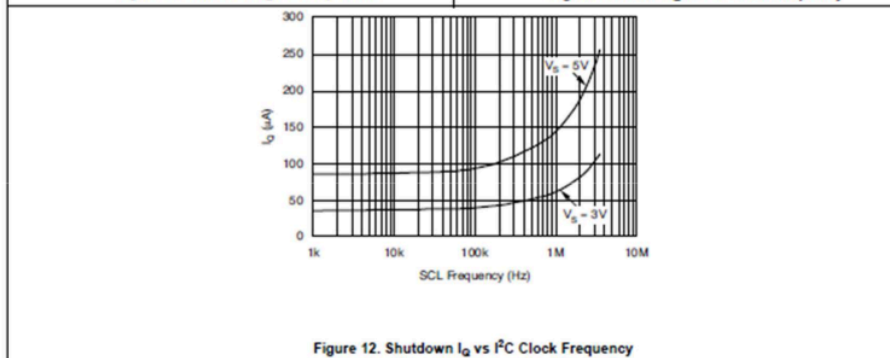


Figure 12. Shutdown I_Q vs I²C Clock Frequency

DHT22

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562
<http://www.aosong.com>
 Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com
 Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

AM2303



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

AM2303 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable AM2303 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	AM2303
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer humidity capacitor & DS18B20 for detecting temperature
Measuring range	humidity 0-100%RH; temperature -40~125Celsius

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

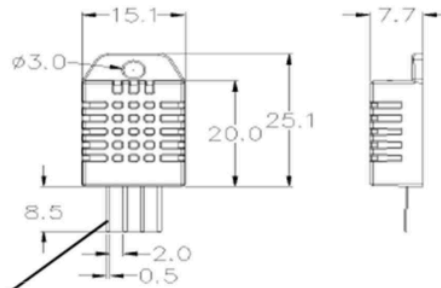
http://www.aosong.com

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

Accuracy	humidity $\pm 2\%RH$ (Max $\pm 5\%RH$);	temperature ± 0.2 Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%RH$;	temperature ± 0.2 Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 0.3\%RH$	
Long-term Stability	$\pm 0.5\%RH/year$	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	

4. Dimensions: (unit---mm)



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

5. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and AM2303, it costs 5mS for single time communication.

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

http://www.aosong.com

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

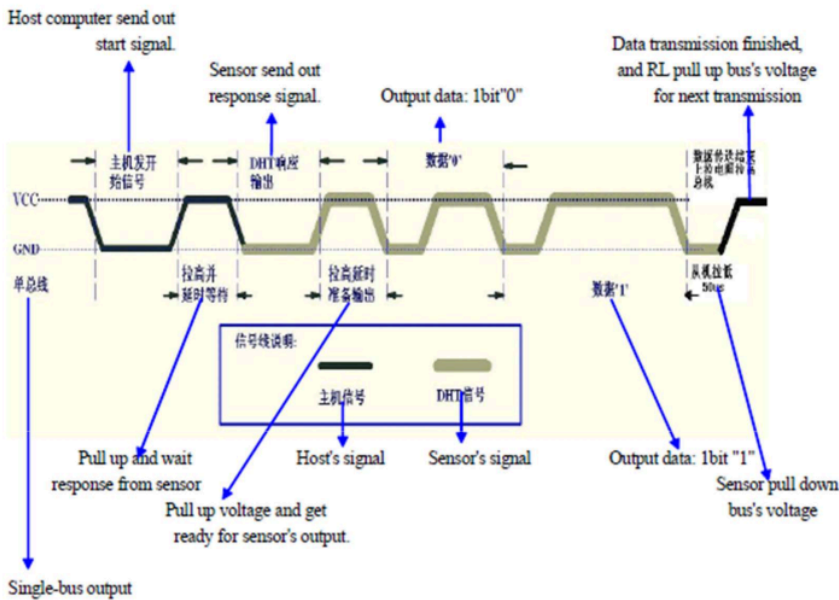
AM2303 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum

If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, AM2303 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, AM2303 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, AM2303 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from AM2303. AM2303 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

http://www.aosong.com

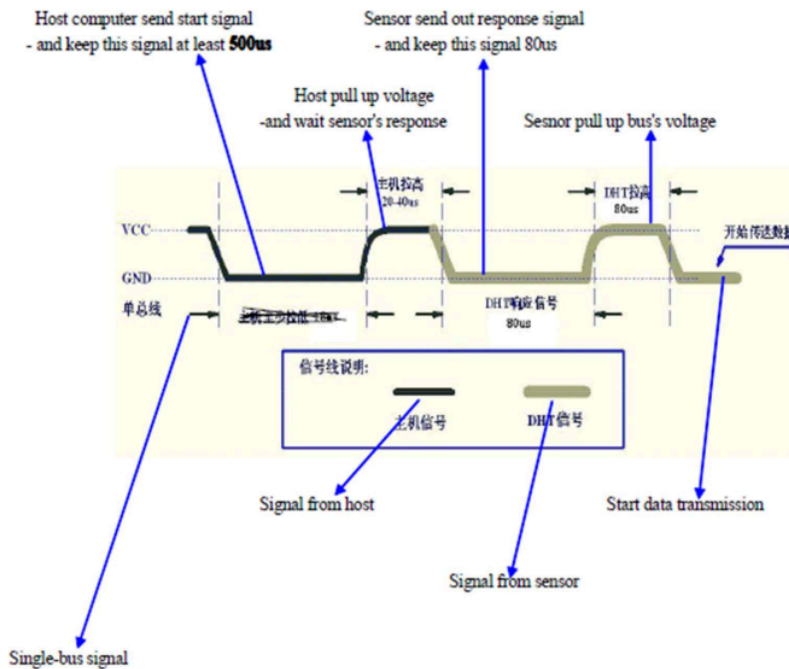
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

2) Step 1: MCU send out start signal to AM2303

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and AM2303 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 18ms to ensure AM2303 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for AM2303's response.

Check bellow picture for step 1:



Step 2: AM2303 send response signal to MCU

When AM2303 detect the start signal, AM2303 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of AM2303 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for AM2303's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

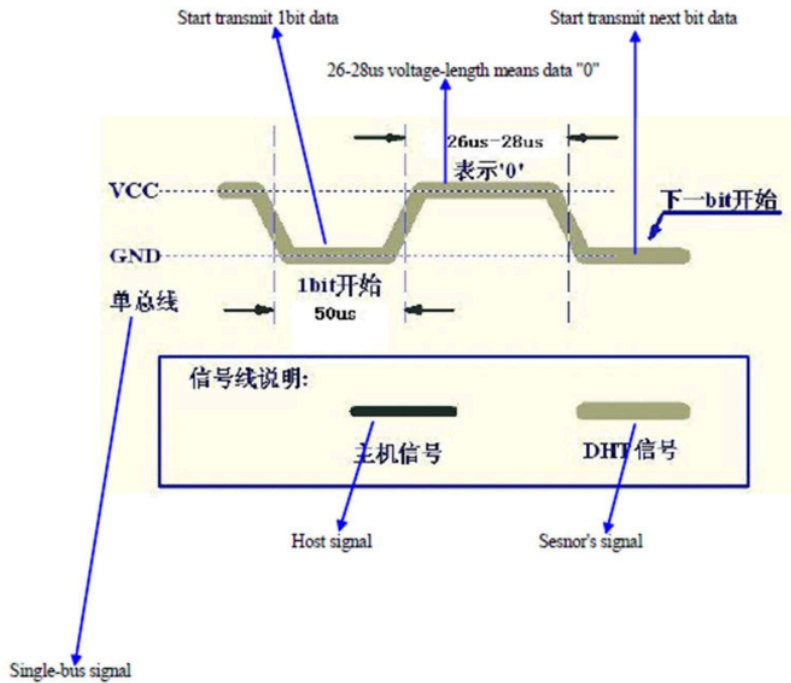
Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

<http://www.aosong.com>

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China



Step 3: AM2303 send data to MCU

When AM2303 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

Check bellow picture for step 3:

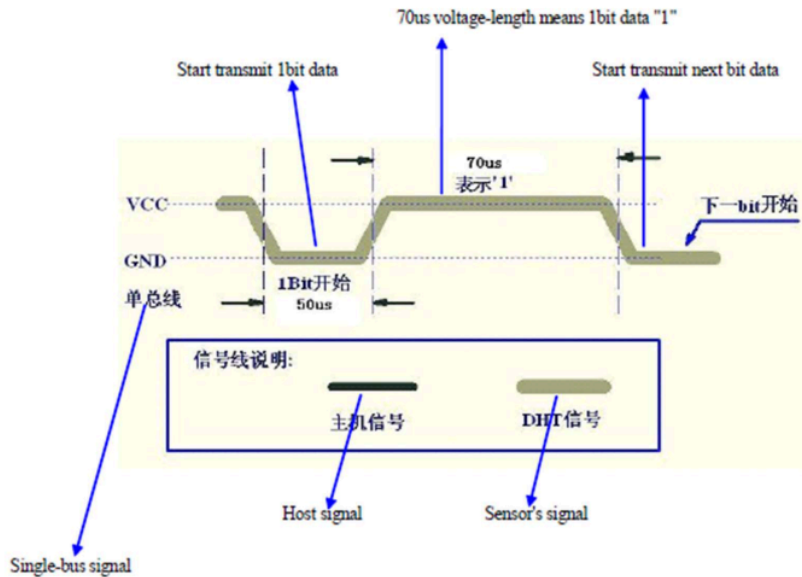
Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

<http://www.aosong.com>

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China



If signal from AM2303 is always high-voltage-level, it means AM2303 is not working properly, please check the electrical connection status.

6. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	1.3	1.5	2.1	mA
	Average	0.5	0.8	1.1	mA
Collecting period	Second	1.7		2	Second

*Collecting period should be : >1.7 second.

7. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT11 sensor

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

<http://www.aosong.com>

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere AM2303's sensitive-elements and debase AM2303's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the AM2303 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the AM2303 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

AM2303 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase AM2303's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of AM2303 may cause personal injury.

MULTÍMETRO DIGITAL FLUKE 179



DATOS TÉCNICOS

Multímetros digitales de verdadero valor eficaz Serie 170 de Fluke



Los multímetros digitales de la serie 170 de Fluke son los instrumentos de referencia en el sector para resolver problemas en sistemas eléctricos y electrónicos

Los multímetros digitales de la serie 170 de Fluke son las soluciones preferidas por los técnicos profesionales de todo el mundo. Incluyen las funciones que necesita para resolver problemas y reparar sistemas eléctricos y electrónicos, además de la reputación inigualable de la marca Fluke en cuanto a resistencia, fiabilidad y precisión.

Todos los multímetros digitales de la serie 170 proporcionan verdaderos valores eficaces. En el entorno eléctrico actual, lleno de armónicos y variadores de velocidad, estos multímetros digitales proporcionarán lecturas precisas de tensión y corriente en señales complejas y no sinusoidales de CA.

Fluke fue la primera empresa en introducir el gráfico de barras analógico en los multímetros digitales, lo que sigue siendo la referencia del sector en la actualidad. Para las señales que varían en función del tiempo, el gráfico de barras puede ser más fácil de leer que los números cambiantes.

Todos los multímetros digitales de la serie 170 de Fluke tienen una garantía limitada de por vida. Si su trabajo depende de sus instrumentos, no le debe faltar nunca un multímetro digital de la serie 170 de Fluke.

FACILIDAD DE USO, RESISTENCIA Y FIABILIDAD EXCEPCIONALES

Los modelos 175, 177 y 179 de Fluke son la elección perfecta para uso diario cuando su trabajo depende de su multímetro

MAYOR PRECISIÓN CON MEDIDAS DE VERDADERO VALOR EFICAZ

Obtenga lecturas precisas de tensión y corriente al medir señales complejas de CA

FÁCIL INTERPRETACIÓN DE SEÑALES VARIABLES

Un gráfico de barras analógico permite ver fácilmente las tendencias de señales fluctuantes

MEDIDAS DE TEMPERATURA A SU ALCANCE (SOLO 179)

Termómetro integrado que permite realizar medidas de temperatura sin necesidad de otros instrumentos






Especificaciones generales	
Especificaciones ambientales	
Temperatura de funcionamiento	-10 °C a +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 °C a +60 °C
Humedad (sin condensación)	0% a 90% (0 °C a 35 °C) 0% a 70% (35 °C a 50 °C)
Especificaciones de seguridad	
Categoría de seguridad	EN 61010-1 para CAT III 1000 V EN 61010-1 para CAT IV 600 V
Certificaciones	CSA, CE
Especificaciones mecánicas y generales	
Tamaño	43 x 90 x 185 mm
Peso	420 g
Garantía	Limitada de por vida
Autonomía de las pilas	Alcalina ~200 h de funcionamiento normal, sin retroiluminación

Especificaciones

La precisión se garantiza durante un año tras la calibración para una temperatura de funcionamiento de 18 °C a 28 °C y una humedad relativa del 0% al 90%. Las especificaciones de precisión son del tipo: ±[% de lectura] + [recuentos]

Función	Rango ±[% de lectura] + [cuentas] ¹	Resolución	Precisión		
			Modelo 175	Modelo 177	Modelo 179
Voltios CA ^{2,3}	600,0 mV	0,1 mV	1,0% + 3 (45 Hz a 500 Hz)	1,0% + 3 (45 Hz a 500 Hz)	1,0% + 3 (45 Hz a 500 Hz)
	6,000 V	0,001 V			
	60,00 V	0,01 V	2,0% + 3 (500 Hz a 1 kHz)	2,0% + 3 (de 500 Hz a 1 kHz)	2,0% + 3 (500 Hz a 1 kHz)
	600,0 V	0,1 V			
1000 V	1 V				
CC mV	600,0 mV	0,1 mV	0,15% + 2	0,09% + 2	0,09% + 2
Tensión CC	6,000 V	0,001 V	0,15% + 2	0,09% + 2	0,09% + 2
	60,00 V	0,01 V			
	600,0 V	0,1 V			
	1000 V	1 V	0,15% + 2	0,15% + 2	0,15% + 2
Continuidad	600 Ω	1 Ω	El multímetro emite una señal acústica a <25 Ω y se apaga a >250 Ω; detecta circuitos abiertos o cortocircuitos de 250 μs o de mayor duración.		
Ohmios	600,0 Ω	0,1 Ω	0,9% + 2	0,9% + 2	0,9% + 2
	6,000 kΩ	0,001 kΩ	0,9% + 1	0,9% + 1	0,9% + 1
	60,00 kΩ	0,01 kΩ	0,9% + 1	0,9% + 1	0,9% + 1
	600,0 kΩ	0,1 kΩ	0,9% + 1	0,9% + 1	0,9% + 1
	6,000 MΩ	0,001 MΩ	0,9% + 1	0,9% + 1	0,9% + 1
	60,00 MΩ	0,01 MΩ	1,5% + 3	1,5% + 3	1,5% + 3
Prueba de diodos	2,400 V	0,001 V	1% + 2		
Capacidad	1000 nF	1 nF	1,2% + 2	1,2% + 2	1,2% + 2
	10,00 μF	0,01 μF	1,2% + 2	1,2% + 2	1,2% + 2
	100,0 μF	0,1 μF	1,2% + 2	1,2% + 2	1,2% + 2
	9999 μF ⁴	1 μF	10% típica	10% típica	10% típica
Amperios CA ⁵ (Verdadero valor eficaz) (45 Hz a 1 kHz)	60,00 mA	0,01 mA	1,5% + 3	1,5% + 3	1,5% + 3
	400,0 mA ⁶	0,1 mA			
	6,000 A	0,001 A	1,0% + 3	1,0% + 3	1,0% + 3
	10,00 A ⁷	0,01 A			
Amperios CC ⁴	60,00 mA	0,01 mA	1,0% + 3	1,0% + 3	1,0% + 3
	400,0 mA ⁶	0,1 mA			
	6,000 A	0,001 A	1,0% + 3	1,0% + 3	1,0% + 3
	10,00 A ⁷	0,01 A			
Hz	99,99 Hz	0,01 Hz	0,1% + 1	0,1% + 1	0,1% + 1
	999,9 Hz	0,1 Hz			
	9,999 kHz	0,001 kHz			
	99,99 kHz	0,01 kHz			
Temperatura	-40 °C a +400 °C	0,1 °C	No disponible.	No disponible.	1% + 10 ⁶
	-40 °F a +752 °F	0,1 °F			1% + 18 ⁶
Mín-máx, prom	Para las funciones de CC, la precisión es la especificada para la función de medida ±12 cuentas para cambios con una duración superior a 350 ms.				
	Para las funciones de CA, la precisión es la especificada para la función de medida ±40 cuentas para cambios con una duración superior a 900 ms.				

¹ Todos los rangos de corriente CA y tensión CA se especifican del 0% al 100% del rango.

² Factor de cresta de ≤ 3 a escala completa hasta 500 V, disminuyendo linealmente hasta el factor de cresta < 1,5 a 1000 V.

³ Para el caso de formas de onda no sinusoidales, suma -2% de lectura + 2% escala completa) típico, para factor de cresta de hasta 3.

⁴ En el rango de 9999 μF para medidas hasta 1000 μF, la precisión de la medida es del 1,2% + 2 para todos los modelos.


⁵ Tensión de carga de entrada en amperios (típico): 400 mA de entrada 2 mV/mA, 10 A de entrada 37 mV/A.

⁶ Precisión de 400,0 mA especificada hasta 600 mA de sobrecarga.

⁷ > 10 A sin especificar.



Modelos	175	177	179
			
	Aplicación general	Resolución de problemas Reparación	Termómetro incorporado Resolución de problemas Reparación
Características básicas			
Recuentos	6000	6000	6000
Medidas de verdadero valor eficaz	CA	CA	CA
Precisión básica de tensión CC	0,09%	0,09%	0,09%
Escala automática y manual	*/•	*/•	*/•
Dígitos	3-1/2	3-1/2	3-1/2
Medidas			
Tensión CA/CC	1000 V	1000 V	1000 V
Corriente CA/CC	10 A	10 A	10 A
Resistencia	50 MΩ	50 MΩ	50 MΩ
Frecuencia	100 kHz	100 kHz	100 kHz
Capacidad	10.000 µF	10.000 µF	10.000 µF
Temperatura			(+) 400 °C
Comprobación de diodos/continuidad	•	•	•
Pantalla			
Gráfico de barras analógico	•	•	•
Retroiluminación		•	•
Diagnóstico y datos			
Registro de valores mínimos y máximos	•	•	•
Retención de lectura/Retención automática (táctil)	*/•	*/•	*/•
Otras características			
Estuche sobremoldeado, funda integrada	•	•	•
Rango de temperaturas de funcionamiento	-10 °C, +50 °C	-10 °C, +50 °C	-10 °C, +50 °C
Garantía y seguridad eléctrica			
Garantía (años)	Limitada de por vida	Limitada de por vida	Limitada de por vida
Indicación de tensión peligrosa	•	•	•
EN61010-1 CAT III	1000 V	1000 V	1000 V
EN61010-1 CAT IV	600 V	600 V	600 V
Cables de prueba accesorios recomendados	TL75, TL175	TL75, TL175	TL75, TL175

 Características solo disponibles con este modelo



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO OPINIÓN DEL EXPERTO



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Autor del instrumento: ALEX PACORICONA APAZA
- 1.2. Validado por: DR. JUAN BENITES NORIEGA
- 1.3. Título de la investigación:
SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED
- 1.4. Nombre del instrumento: CUESTIONARIO

II. ASPECTOS A EVALUAR

Nº	INDICADORES	VALORACIÓN																			
		DEFICIENTE				BAJO				REGULAR				BUENA				EXCELENTE			
		1	9	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1	CLARIDAD	Esta formado con lenguaje apropiado.													X						
2	OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.														X					
3	ACTUALIDAD	Está adecuado al avance de la ciencia.														X					
4	ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.														X					
5	SUFICIENCIA	El número de ítems propuesto es suficiente para medir la variable.													X						
6	ADECUACIÓN	Está adecuado para valorar la variable de estudio.														X					
7	CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos.														X					
8	COHERENCIA	Existe coherencia entre el problema, objetivos e hipótesis.														X					
9	METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación.															X				
10	PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación.														X					

- III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: BUENA
- IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 77.5%
- V. OBSERVACIONES: NINGUNA
- LUGAR Y FECHA: JULIACA 02 DE DICIEMBRE DEL 2024

FIRMA DEL EXPERTO



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO OPINIÓN DEL EXPERTO



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Autor del instrumento: ALEX PACORICONA APAZA
- 1.2. Validado por: DR. JESUS MAMANI MAMANI
- 1.3. Título de la investigación:
SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LDRAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED
- 1.4. Nombre del instrumento: CUESTIONARIO

II. ASPECTOS A EVALUAR

Nº	INDICADORES		VALORACIÓN																			
			DEFICIENTE				BAJO				REGULAR				BUENA				EXCELENTE			
			1	9	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
1	CLARIDAD	Esta formado con lenguaje apropiado.														X						
2	OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.														X						
3	ACTUALIDAD	Está adecuado al avance de la ciencia.														X						
4	ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.														X						
5	SUFICIENCIA	El número de ítems propuesto es suficiente para medir la variable.														X						
6	ADECUACIÓN	Está adecuado para valorar la variable de estudio.														X						
7	CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos.														X						
8	COHERENCIA	Existe coherencia entre el problema, objetivos e hipótesis.														X						
9	METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación.														X						
10	PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación.														X						

- III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: BUENA
- IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 77.5%
- V. OBSERVACIONES: NINGUNA
- LUGAR Y FECHA: JULIACA 02 DE DICIEMBRE DEL 2024

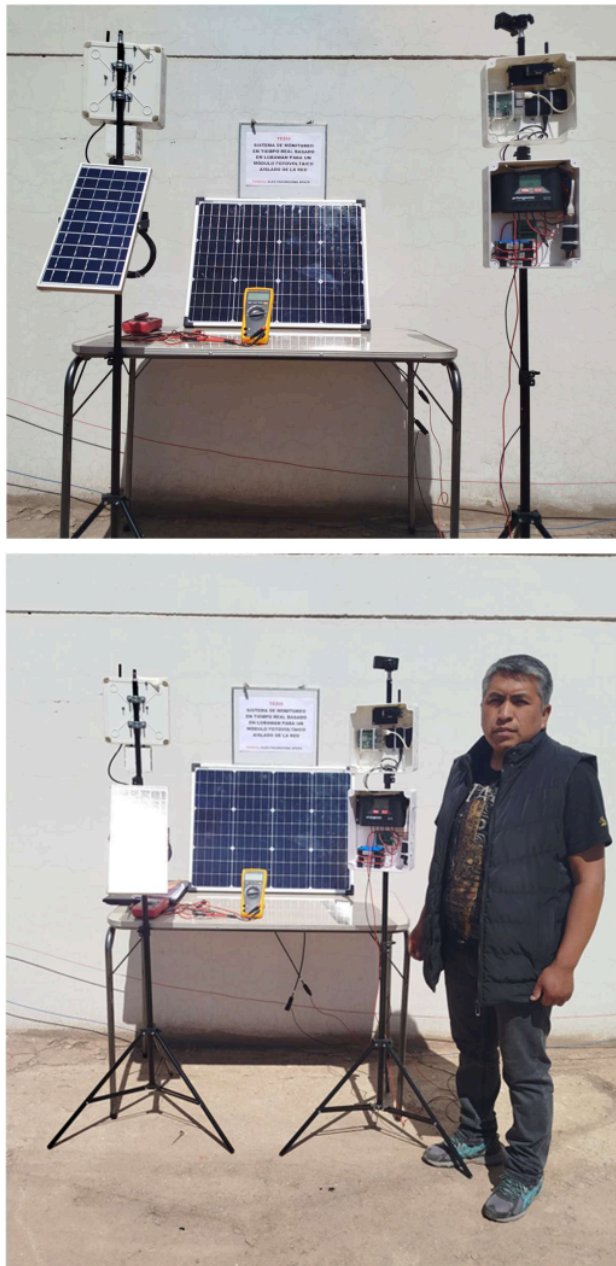
FIRMA DEL EXPERTO
Dr. Jesus Mamani Mamani
DNI 02425043

ANEXO 4: Muestras fotográficas del proceso de recolección de datos

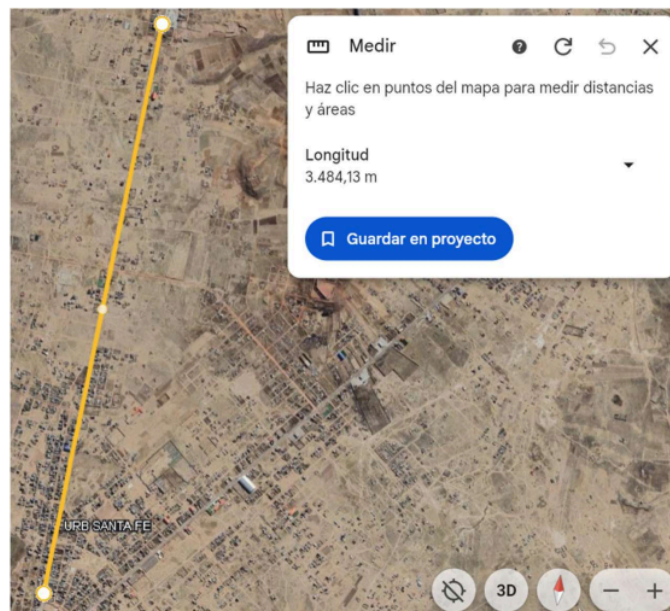
Muestras fotográficas: Tomas de muestras de temperatura con el multímetro Fluke 179 y el sistema propuesto.



Muestras fotográficas: Tomas de muestras de voltaje y corriente con el multímetro Fluke 179 y el sistema propuesto.



Muestras fotográficas: Muestra del sistema propuesto con todos sus componentes.



Muestras fotográficas: Pruebas del alcance de comunicación entre el módulo Tx y Rx.



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 20-05-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ALEX PACORICONA APAZA

Dirección: JR. 4 DE ABRIL MZ. A LT. 6 URB. SAN FRANCISCO II

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 43140502

Teléfono: 951 558 004 email: alexhpcx@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: MAESTRÍA EN MECÁNICA ELÉCTRICA

Escuela Profesional o Mención: MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Asesor: Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN
MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED

Palabras claves, (3 a 5 términos): Sistema De Monitoreo, Lorawan, Módulo Fotovoltaico, Red.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

**2. Referencia de tesis:**

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:**a) Licencia estándar:**

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

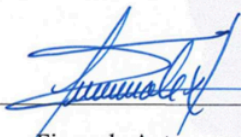
Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
 Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN - P52


Firma de Autor

huella digital

20-05-2025
Fecha

SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL BASADO EN LORAWAN PARA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	mx.linkedin.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%
7	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%

Submitted to Universidad Ricardo Palma

8

Trabajo del estudiante

<1 %

9

Space Safety is No Accident, 2015.

Publicación

<1 %

10

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

12

Submitted to Universidad de Talca

Trabajo del estudiante

<1 %

13

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

14

Miguel Kiyoshy Nakamura Pinto. "Diseño de un sistema de mensajería instantánea para redes comunitarias", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

15

Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador

Trabajo del estudiante

<1 %

16

bracsan.pe

Fuente de Internet

<1 %

17

sedici.unlp.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

ebin.pub

18

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

21

riunet.upv.es

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Trabajo del estudiante

<1 %

24

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

<1 %

25

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

I. Dupont, R. Pereira, S. Juca, P. Carvalho. "Internet of Things Data Acquisition System Applied to Photovoltaic Water Pumping", IEEE Latin America Transactions, 2018

Publicación

<1 %

27

enerpanel.com

Fuente de Internet

<1 %

28	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.ulasamericas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
32	Puma Roque, Pedro Yulian. "Evaluación del factor de dimensionamiento para SFCR, implementado con convertidores CC/CC para fines de micro generación, en condiciones de clima extremo en el Distrito de San Miguel Juliaca Perú a 3812 msnm", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
33	"Sistema de evaluación de la gestión del riesgo en la gestión de adquisiciones y contratos", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013 Publicación	<1 %
34	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

36	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to PLANESTIC-UD Trabajo del estudiante	<1 %
38	Silvia Marzal Romeu. "Concepción e integración de arquitecturas y protocolos de comunicación dentro de sistemas de supervisión y control de microrredes inteligentes", Universitat Politecnica de Valencia, 2019 Publicación	<1 %
39	Submitted to Universiteit Utrecht Trabajo del estudiante	<1 %
40	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	<1 %
41	repository.tudelft.nl Fuente de Internet	<1 %
42	repository.ucatolica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
43	pingpdf.com Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to Curtin University of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
45	helvia.uco.es Fuente de Internet	<1 %

46	www.dropbox.com Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to upb Trabajo del estudiante	<1 %
48	Julio Quevedo, Javier Ruiz, Daniel Gonzalez. "Analysis of a photovoltaic solar installation in accordance to performance parameters of IEC61724", 2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the energy Transition (FISE/CIGRE), 2019 Publicación	<1 %
49	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.upa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	www.revistaimg.com Fuente de Internet	<1 %
53	"CSEI: International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI)", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Publicación	<1 %
54	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	

<1 %

55

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

www.impacto.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

57

Submitted to Colegio Lamatepec

Trabajo del estudiante

<1 %

58

Eneko Olivares Gorriti. "Especificación y desarrollo de una pasarela física y virtual para interoperabilidad de dispositivos heterogéneos en el ámbito de Internet de las Cosas", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

59

creativecommons.org

Fuente de Internet

<1 %

60

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1 %

61

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

62

repositorio.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

63

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

64

repositorio.unicauca.edu.co:8080

Fuente de Internet

<1 %

65

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

66

[Submitted to Pontificia Universidad Catolica Madre y Maestra PUCMM](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

67

[Submitted to Universidad Andrés Bello](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

68

[Submitted to Universidad Cesar Vallejo](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

69

biblio.ugent.be

Fuente de Internet

<1 %

70

jurusan.tik.pnj.ac.id

Fuente de Internet

<1 %

71

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

72

ruja.ujaen.es

Fuente de Internet

<1 %

73

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

74

www.saha-maintsoanala.mg

Fuente de Internet

<1 %

75	Jesús Águila León. "Modelo y desarrollo de un sistema de gestión óptima para una microrred empleando algoritmos bio-inspirados", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
76	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
77	editorialalema.org Fuente de Internet	<1 %
78	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
79	futur.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
80	Submitted to uroosevelt Trabajo del estudiante	<1 %
81	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
82	lomejorensaviduria.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
83	Fernando Blanco-Silva, Alfonso López-Díaz, Antonio Baamonde-Rial. "influencia de la covid-19 en los cambios en el mercado	<1 %

laboral provocados por la revolución digital", Fórum Empresarial, 2022

Publicación

84

Paula Bastida Molina. "Estudio de sistemas renovables avanzados para el desarrollo energético sostenible", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

85

Submitted to Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Trabajo del estudiante

86

Quispe Quispe, Juan Carlos. "Evaluación sobre la implementación de un sistema de generación distribuida fotovoltaica en la ciudad universitaria de la UNA - Puno 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

87

Submitted to Universidad Tecnológica Israel

Trabajo del estudiante

88

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

89

repositorio.upct.es

Fuente de Internet

90

Submitted to usach

Trabajo del estudiante

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

91

www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

92

Submitted to Birkbeck College

Trabajo del estudiante

<1 %

93

Federico Orozco Santos. "Diseño y evaluación de redes definidas por software para la orquestación dinámica de calidad de servicio en redes industriales de sensores inalámbricos", Universitat Politecnica de Valencia, 2024

Publicación

<1 %

94

Soares, Carlos Manuel Lopes. "Desenvolvimento de um Editor Para Criação de Automações em Assistentes de Casas Inteligentes", Universidade de Aveiro (Portugal), 2024

Publicación

<1 %

95

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

<1 %

96

Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Trabajo del estudiante

<1 %

97

perimeterlarm.se

Fuente de Internet

<1 %

98

res.mdpi.com

Fuente de Internet

<1 %

99	www.revistaeconomia.com Fuente de Internet	<1 %
100	www.tme.eu Fuente de Internet	<1 %
101	Clara Isabel Valero López. "Arquitectura de IoT para la implementación de servicios cognitivos", Universitat Politecnica de Valencia, 2024 Publicación	<1 %
102	Submitted to Hong Kong University of Science and Technology Trabajo del estudiante	<1 %
103	Submitted to Universidad de Cundinamarca Trabajo del estudiante	<1 %
104	Submitted to Universidad de Las Palmas de Gran Canaria Trabajo del estudiante	<1 %
105	atwe.razi.ac.ir Fuente de Internet	<1 %
106	emprendedoras.com Fuente de Internet	<1 %
107	exactitudeconsultancy.com Fuente de Internet	<1 %
108	utec.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

109

www.geekvida.es

Fuente de Internet

<1 %

110

Morales Vega, Tatiana. "Infraestructura de medición avanzada para microrredes eléctricas", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), 2024

Publicación

<1 %

111

anes.org.mx

Fuente de Internet

<1 %

112

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

113

es.txpuhong.com

Fuente de Internet

<1 %

114

gauss.des.icaei.upco.es

Fuente de Internet

<1 %

115

naylampmechatronics.com

Fuente de Internet

<1 %

116

portusonline.org

Fuente de Internet

<1 %

117

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

118

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

119

riull.ull.es

Fuente de Internet

<1 %

120 Submitted to tec
Trabajo del estudiante

<1 %

121 uvadoc.uva.es
Fuente de Internet

<1 %

122 vufind-test.katalog.k.utb.cz
Fuente de Internet

<1 %

123 www.dvc.es
Fuente de Internet

<1 %

124 Andres Vazquez-Rodas, Fabian Astudillo-Salinas, Luis I. Minchala. "Aplicación de tecnologías inalámbricas al monitoreo climatológico en la cuenca del Río Paute", Revista de Investigación en Tecnologías de la Información, 2021
Publicación

<1 %

125 Franco Trigo, Lucia. "Participatory Research for the Development of Community Pharmacy Services", University of Technology Sydney (Australia), 2024
Publicación

<1 %

126 Nihua Umeres, Marleni. "Recursos educativos abiertos en el aprendizaje del inglés en estudiantes de educación secundaria de la Institución Educativa "Emblemático Manco II"

<1 %

de Quillabamba, Cusco", Universidad
Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

127	Oswaldo-Andrés Ordóñez-Bolaños, Luz-Marina Sierra-Martinez, Diego-Hernán Peluffo-Ordoñez. "IoT-LAT: Prototipo de gemelo digital para la simulación de escenarios educativos de los laboratorios de arte y tecnología del Instituto Departamental de Bellas Artes, Cali, Colombia", Revista Facultad de Ingeniería, 2023 Publicación	<1 %
128	b2b.technosun.com Fuente de Internet	<1 %
129	catalogosiidca.csuca.org Fuente de Internet	<1 %
130	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
131	open.umn.edu Fuente de Internet	<1 %
132	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
133	scholar.colorado.edu Fuente de Internet	<1 %
134	spanish.chinatoday.com.cn Fuente de Internet	<1 %

135	www.hisour.com Fuente de Internet	<1 %
136	www.ijrer.ijrer.org Fuente de Internet	<1 %
137	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
138	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
139	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
140	www.theseus.fi Fuente de Internet	<1 %
141	www.yinglisolar.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 10 words