



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**EFICIENCIA DE UN SISTEMA SOLAR TRACKER CON
SENSORES TIPO LDR Y UN MECANISMO FIJO
CONVENCIONAL, EN LA REGIÓN PUNO.**

TESIS

PRESENTADA POR:

ADALID GONZALO PAREDES QUISPE

EBER LUCIO PORTADA MAMANI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EFICIENCIA DE UN SISTEMA SOLAR TRACKER CON SENSORES TIPO LDR Y UN MECANISMO FIJO CONVENCIONAL, EN LA REGIÓN PUNO.

AUTOR

ADALID GONZALO PAREDES QUISPE
EBER LUCIO PORTADA MAMANI

RECuento DE PALABRAS

21161 Words

RECuento DE CARACTERES

116794 Characters

RECuento DE PÁGINAS

130 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.5MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 20, 2023 1:25 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 20, 2023 1:27 PM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 11 palabras)


Ing. Walter Paredes Paye
DNI: D1371936
CIP: 67951
ASELON


Julio Freddy Chura Acero
ING. MECANICO ELECTRICISTA
CIP, 135145
Vago
Sub. Dirección de Investigación
EPIME

Resumen



DEDICATORIA

A mi familia y amigos que me han apoyado durante todo el proceso ofreciéndome palabras de sabiduría e inspiración. La carga ha sido más ligera y la experiencia más satisfactoria gracias a vuestra presencia y palabras de apoyo.

Adalid G. Paredes Zuispe



DEDICATORIA

A mi familia, maestra en el arte de cultivar en mí valores sólidos y hábitos edificantes, agradezco por ser mi fortaleza en los desafíos más arduos y alentarme a seguir avanzando.

Eber L. Portada Mamani



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseamos expresar nuestra profunda gratitud a Dios, quien ha sido la fuente constante de fortaleza y guía a lo largo de este desafiante pero enriquecedor viaje académico.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, les agradecemos sinceramente por brindarnos la valiosa oportunidad de formarnos y crecer como profesionales. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido esencial para nuestro desarrollo académico.

Extendemos nuestro reconocimiento al ingeniero Julio Fredy Chura Acero, cuyo apoyo incondicional y generosas facilidades fueron cruciales en cada fase de esta investigación compartida. Su dedicación y colaboración han dejado una marca indeleble en nuestra trayectoria académica.

Nuestro más sincero agradecimiento al ingeniero Walter Oswaldo Paredes Pareja, nuestro asesor, cuya orientación experta y consejos acertados resultaron fundamentales para el éxito de esta tesis conjunta. Su dedicación y conocimiento han sido una guía inestimable.

A los distinguidos docentes que conformaron el jurado de esta investigación, les agradecemos de corazón por su tiempo, conocimientos compartidos y evaluación experta. Su contribución ha enriquecido de manera significativa este trabajo compartido.

Adalid G. Paredes Zuispe

Eber L. Portada Mamani



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA	22
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2. Problemas específicos	22
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. HIPÓTESIS	23
1.4.1. Hipótesis general	23
1.4.2. Hipótesis específicas	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	24
2.2. MARCO TEÓRICO	34
2.2.1. Concepto de energía.....	34
2.2.2. Estado de las energías renovables en el Perú	34
2.2.3. Energía solar.....	36
2.2.3.1. Energía solar pasiva	36
2.2.3.2. Energía solar fotovoltaica	36



2.2.3.3. Energía solar térmica	36
2.2.4. Radiación solar	36
2.2.5. Irradiancia solar	37
2.2.6. Irradiación solar	38
2.2.7. Factores que afectan la cantidad de radiación solar que recibe la Tierra 38	
2.2.7.1. Variables astronómicas y geográficos	38
2.2.7.2. Variables atmosféricas	40
2.2.8. Tipos de radiación solar sobre una superficie	41
2.2.9. Coordenadas y movimientos de la Tierra	42
2.2.9.1. Latitud	42
2.2.9.2. Longitud	42
2.2.10. Movimientos de la Tierra	43
2.2.11. Declinación	44
2.2.12. Coordenadas solares	44
2.2.12.1. Elevación solar	45
2.2.12.2. Acimut solar	45
2.2.12.3. Ángulo o distancia cenital	45
2.2.13. Energía solar fotovoltaica	45
2.2.14. La célula fotovoltaica	46
2.2.15. Parámetros de una célula fotovoltaica	46
2.2.16. Características estandarizadas de un módulo solar	47
2.2.17. Efectos de la irradiación y la temperatura	48
2.2.18. Curva de irradiancia	52
2.2.19. Instalaciones fijas y con seguimiento solar	52
2.2.20. Seguidor solar de dos ejes	52

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1.1. Nivel de la investigación	54
3.1.2. Diseño de investigación	54
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	55
3.2.1. Población	55
3.2.2. Muestra	55
3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO	56



3.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR CON SENSORES TIPO	
	LDR	57
3.4.1.	Estructura mecánica	57
3.4.2.	Soporte de base.....	57
3.4.3.	Motor eje horizontal	58
3.4.4.	Motor eje vertical	59
3.4.5.	Soporte de panel solar	60
3.4.6.	Columna superior	60
3.5.	MATERIALES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	61
3.5.1.	Sensor de luz LDR	61
3.5.2.	Sensor fin de carrera.....	64
3.5.3.	Acondicionador de voltaje	65
3.5.4.	Regulador lineal de tensión	67
3.5.5.	Sistema de control	68
	3.5.5.1. Adquisición de datos	68
	3.5.5.2. Procesamiento de datos	69
	3.5.5.3. Control de posición	69
3.5.6.	Programación de algoritmo	70
3.6.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FIJO CONVENCIONAL.....	72
3.6.1.	Estructura de soporte.....	72
3.7.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TOMA DE DATOS	
	AUTOMÁTICO	73
3.7.1.	Sistema general	73
3.7.2.	Placa de control general	74
3.7.3.	Módulo reloj en tiempo real	74
3.7.4.	Sistema de medición de corriente.....	75
3.7.5.	Componentes actuadores.....	76
3.7.6.	Componentes de almacenamiento de datos.....	77
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIONES		
4.1.	AJUSTE DE LOS PARÁMETROS PARA EL MÓDULO ESTÁTICO	
	CONVENCIONAL	78
4.1.1.	Orientación del módulo estático convencional	78
4.1.2.	Inclinación del módulo estático convencional	80



4.2.	ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA CAPTADA POR AMBOS MÓDULOS	81
.....		
4.2.1.	Análisis diario mensual	81
4.2.2.	Análisis horario mensual	85
4.3.	ANÁLISIS DE LA IRRADIACIÓN CAPTADA POR AMBOS MÓDULOS	90
.....		
4.3.1.	Análisis mensual	90
4.3.2.	Análisis semanal.....	92
4.3.3.	Análisis diario mensual	94
4.4.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	98
4.4.1.	Prueba de no normalidad.....	98
4.4.1.1.	Inspección visual de los datos.....	98
4.4.1.2.	Prueba de no normalidad por Kolmogorov-Smirnov.....	100
4.4.1.2.1.	Modulo seguidor.....	100
4.4.1.2.2.	Modulo estático	100
4.4.2.	Análisis de la homogeneidad de las varianzas	101
4.4.3.	U de Mann-Whitney-Wilcoxon.....	102
4.4.3.1.	Prueba de suma de rangos de Wilcoxon con corrección de continuidad.....	104
V.	CONCLUSIONES.....	106
VI.	RECOMENDACIONES	108
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS.....		114

Área: Energías Renovables

Tema: Energía Fotovoltaica

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 de diciembre de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Participación en la producción de energía eléctrica (SEIN) por tipo de generación.....	35
Figura 2 La evolución de la producción de energía eléctrica (SEIN) en función del tipo de generación.....	35
Figura 3 Espectro electromagnético de la radiación solar extra - atmosférica y en la superficie terrestre.	37
Figura 4 Trayectorias descritas por el Sol.....	39
Figura 5 Declinación con respecto a la tierra-sol.....	39
Figura 6 Componentes de la radiación solar incidente en la superficie terrestre.....	41
Figura 7 Latitud y longitud	42
Figura 8 Movimiento terrestre alrededor del Sol	43
Figura 9 Detalles de las coordenadas solares.....	44
Figura 10 Análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos	47
Figura 11 Efecto de la irradiancia en la curva característica de una célula solar ($T_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$).....	49
Figura 12 Efecto de la temperatura en la curva característica de una célula solar ($G = 800\text{ W/m}^2$).....	50
Figura 13 Corriente de corto circuito vs irradiación incidente de una célula solar Figura 11(A)	51
Figura 14 Seguidor solar de dos ejes	53
Figura 15 Diseño final de seguidor solar	57
Figura 16 Columna inferior	58
Figura 17 Motor eje horizontal	59



Figura 18	Motor eje vertical	60
Figura 19	Soporte de panel solar	60
Figura 20	Columna superior	61
Figura 21	Conexión LDR sensor de luz.....	62
Figura 22	Configuración del mamparo y su ubicación.....	63
Figura 23	Sensor LDR 05	64
Figura 24	Configuración Pull Down de resistencia	65
Figura 25	Ubicación de fin de carrera de eje azimutal y de elevación	65
Figura 26	Ubicación de fin de carrera de eje azimutal y de elevación	66
Figura 27	Regulador lineal de voltaje.....	68
Figura 28	Etapas para el control	68
Figura 29	Etapas para el control	69
Figura 30	Diagrama de flujo	72
Figura 31	Diseño del soporte del sistema fijo.....	73
Figura 32	Placa Arduino UNO R3.....	74
Figura 33	RTC Ds1307 Timer component precision.....	75
Figura 34	Sensor de corriente ACS712	76
Figura 35	Módulo De Relé De 5v De Un Solo Canal.....	76
Figura 36	Módulo de tarjeta SD.....	77
Figura 37	Declinación magnética	79
Figura 38	Norte magnético y norte geográfico	79
Figura 39	Curva de irradiación abril-2023.....	82
Figura 40	Curva de irradiación mayo-2023	83
Figura 41	Curva de irradiación junio-2023.....	83
Figura 42	Curva de irradiación julio-2023.....	84



Figura 43	Irradiancia captada horario-mensual abril-2023.....	85
Figura 44	Irradiancia captada horario-mensual mayo-2023	87
Figura 45	Irradiancia captada horario-mensual junio-2023.....	88
Figura 46	Irradiancia captada horario-mensual julio-2023.....	89
Figura 47	Irradiación promedio mensual y error estándar.....	91
Figura 48	Irradiación promedio semanal y error estándar	92
Figura 49	Irradiación diaria abril-2023.....	94
Figura 50	Irradiación diaria mayo-2023	95
Figura 51	Irradiación diaria junio-2023.....	95
Figura 52	Irradiación diaria julio-2023.....	96
Figura 53	Densidad de distribución de la irradiación	98
Figura 54	Representación QQ de la irradiación del módulo seguidor.....	99
Figura 55	Representación QQ de la irradiación del módulo estático	99
Figura 56	Diagrama de cajas de la irradiación.....	103



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Fenómenos atmosféricos sobre la radiación solar	40
Tabla 2 Irradiación promedio de los dos sistemas abril-2023	82
Tabla 3 Irradiación promedio de los dos sistemas mayo-2023.....	83
Tabla 4 Irradiación promedio de los dos sistemas junio-2023	84
Tabla 5 Irradiación promedio de los dos sistemas julio-2023	84
Tabla 6 Resultados estadísticos horario-mensual abril-2023	86
Tabla 7 Resultados estadísticos horario-mensual mayo-2023.....	87
Tabla 8 Resultados estadísticos horario-mensual junio-2023	88
Tabla 9 Resultados estadísticos horario-mensual julio-2023	89
Tabla 10 Resultados estadísticos análisis mensual.....	91
Tabla 11 Resultados estadísticos análisis semanal	93
Tabla 12 Irradiación diaria de ambos sistemas.....	97
Tabla 13 Evaluación del P valor.....	100
Tabla 14 Evaluación del P valor.....	101
Tabla 15 Evaluación del P valor.....	102
Tabla 16 Medidas centrales de los datos	103
Tabla 17 Evaluación del P valor.....	104



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Algoritmo de programación	114
ANEXO 2 Declinación.....	122
ANEXO 3 Fabricación de la estructura del módulo estático de prueba.....	123
ANEXO 4 Instalacion del modulo seguidor solar	124
ANEXO 5 Pintado de líneas de seguridad	124
ANEXO 6 Modulo fotovoltaico de 20W.....	125
ANEXO 7 Modulo seguidor solar en funcionamiento	126
ANEXO 8 Modulo estático en funcionamiento	127
ANEXO 9 Calibración de los sensores de toma de datos.....	128
ANEXO 10 Modulo integral de análisis experimental del seguidor solar y el panel estático.....	128
ANEXO 11 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	129
ANEXO 12 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	130



ACRÓNIMOS

ASTM:	Sociedad estadounidense para pruebas y materiales
CA:	Corriente alterna
CC:	Corriente continua
CEM:	Condiciones estándar de medida
DC:	Corriente directa
IDE:	Entorno de desarrollo integrado
INEI:	Instituto nacional de estadística e informática
LDR:	Resistencia dependiente de la luz
QQ:	Cuantil cuantil
RER:	Recursos energéticos renovables
RPM:	Revolución por minuto
RTC:	Reloj de tiempo real
SD:	Digital segura
SEIN:	Sistema eléctrico interconectado nacional



RESUMEN

En respuesta al desafío global del creciente avance poblacional y la necesidad de abastecimiento de energía eléctrica, esta tesis, titulada "Eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional, en la Región Puno", se centra en el estudio comparativo de dos sistemas fotovoltaicos: un mecanismo fijo convencional y un sistema solar tracker con sensores tipo LDR, en la región de Puno, Perú. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicada a 3,830 metros sobre el nivel del mar. Durante el análisis de los sistemas fotovoltaicos, se empleó un enfoque Descriptivo longitudinal, evaluando la irradiancia captada por ambos sistemas en diferentes condiciones climáticas y horarias. Los datos recopilados revelaron que el sistema solar tracker con sensores LDR superó consistentemente al mecanismo fijo, capturando una irradiancia significativamente mayor, especialmente durante las horas matutinas y vespertinas. Se demostró una diferencia de eficiencia promedio del 37.519%, confirmando la superioridad del sistema solar tracker con sensores LDR en términos de rendimiento y captación de irradiancia, estos hallazgos resaltan la relevancia de este estudio en el contexto de la creciente demanda energética global y las limitaciones de acceso a la electricidad en áreas rurales. Los resultados ofrecen una base sólida para la implementación de tecnologías fotovoltaicas más eficientes y sostenibles. En resumen, este trabajo contribuye significativamente a la comprensión y aplicación práctica de sistemas solares avanzados, impulsando el avance hacia una generación de energía más eficiente y accesible para comunidades vulnerables.

Palabras clave: Análisis comparativo, Energía solar, Panel solar, Sistema fijo, Solar tracker.



ABSTRACT

In response to the global challenge of growing population advancement and the need for electrical energy supply, this thesis, titled "Efficiency of a solar tracker system with LDR type sensors and a conventional fixed mechanism in the Puno region", focuses on the study Comparative of two photovoltaic systems: a conventional fixed mechanism and a solar tracker system with LDR type sensors, in the Puno region, Peru. The research was carried out in the Electrical Mechanical Engineering laboratory of the National University of the Altiplano, located 3,830 meters above sea level. During the analysis of the photovoltaic systems, a longitudinal descriptive approach was used, evaluating the irradiance captured by both systems in different climatic and time conditions. The data collected revealed that the solar tracker system with LDR sensors consistently outperformed the fixed mechanism, capturing significantly higher irradiance, especially during morning and evening hours. An average efficiency difference of 37,519% was demonstrated, confirming the superiority of the solar tracker system with LDR sensors in terms of performance and irradiation capture. These findings highlight the relevance of this study in the context of growing global energy demand and limitations. access to electricity in rural areas. The results offer a solid basis for the implementation of more efficient and sustainable photovoltaic technologies. In summary, this work contributes significantly to the understanding and practical application of advanced solar systems, driving progress towards more efficient and accessible energy generation for vulnerable communities.

Keywords: Comparative analysis, Fixed system, Solar energy, Solar panel, Solar tracker.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación de tesis es analizar la eficiencia de un sistema solar que utiliza sensores tipo LDR (Resistencias Dependientes de la Luz) en comparación con un mecanismo fijo convencional en la región de Puno.

Los sistemas de instalación fija se mantienen en una posición constante para la producción de energía durante un número limitado de horas al día. Por otro lado, con un sistema seguidor solar, también conocido como solar tracker, el panel solar se posiciona siempre en un ángulo y orientación óptimos para lograr un alto grado de eficiencia.

Para la obtención de la irradiancia captada por ambos sistemas se implementó un circuito medidor de corriente tomando como base la tarjeta Arduino UNO en su tercera Revisión a la cual se le implementó un módulo reloj en tiempo real DS1307 RTC para establecer los intervalos de toma de datos, dos sensores de corriente ACS712 implementado con un chip ACS712T-ELC-05B dos relés de 1 canal a 5v y un datalogger LVC125A para el almacenamiento de datos.

La metodología que se aplicó es de tipo descriptiva basado en datos experimentales propias y datos de antecedentes con relación a este proyecto, fuentes teóricas, equipos de medición y programas computacionales especializadas en energías solares fotovoltaicas. El objetivo de este estudio es realizar una comparación exhaustiva entre el rendimiento de un seguidor solar de doble eje, utilizando sensores LDR, y una instalación de posición fija. El propósito de esta comparación es evaluar el potencial de energía solar en la región en estudio. Mediante un análisis detallado de ambos sistemas,



se buscó determinar cuál de ellos ofrece un mayor rendimiento y eficiencia en la captación de energía solar.

La obtención de resultados positivos en el análisis de datos del seguidor solar de doble eje, evidenciados en software computacional, en comparación con un sistema de posición fija, permitió establecer la superior eficiencia del primero.

Nuestra investigación titulada “Eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional, en la Región Puno”. Se compone de los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se establece cómo se abordó el problema de investigación, lo que incluye cómo se definió el problema, como se justificó y cuáles fueron los objetivos de la investigación.

En el Capítulo II se ostenta una revisión exhaustiva de la literatura, en la cual se exploran los antecedentes relevantes y se proporciona el respaldo teórico necesario para el estudio.

En el Capítulo III se enseña la descripción detallada del enfoque metodológico utilizado en el estudio, abarcando aspectos como el tipo de investigación, el diseño metodológico, el objeto de estudio, así como los métodos, técnicas e instrumentos empleados para la recolección y análisis de datos.

En el Capítulo IV se presentan los hallazgos obtenidos a partir de la investigación, centrándose en los logros alcanzados en relación a las unidades de estudio examinadas. Además, se lleva a cabo una discusión que incorpora las teorías relevantes para profundizar en los resultados.



Por último, se presenta las conclusiones a las que se ha llegado y en función de ella se realizó las sugerencias. Además, se presenta las referencias bibliográficas y los anexos correspondientes incluidos la propuesta que postula la investigación.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento demográfico trae consigo una variedad de problemas y el desafío de cómo resolverlos. Uno de los problemas es el suministro de energía eléctrica. Muchas actividades del desarrollo humano en diferentes aspectos, como la economía, el trabajo, la profesión, la tecnología, la sociedad, etc., dependen directa o indirectamente de la energía eléctrica. Se estima que en 2050 la población mundial alcanzará los 9 mil millones, aumentando la demanda de energía eléctrica a 46 TW respecto a la que se consume hoy. El Perú cuenta entre su población con familias que no pueden acceder a este servicio básico, según el INEI en el año 2016 a nivel nacional el acceso a la energía era de 91.6% y en el departamento de Piura llegaba 89.3% dejando un 10.7% esperando por el servicio básico (Villaseca, 2020), motivo por el cual se hace necesario buscar nuevas fuentes de generación eléctrica y/o optimizar las ya existentes como son los paneles fotovoltaicos estáticos convencionales objetos de estudio y mejoramiento mediante implementación de mecanismos seguidores solares tracker.

El objetivo de este estudio fue examinar y evaluar la eficiencia del sistema de seguimiento solar con sensores LDR en comparación con un sistema fijo en las condiciones específicas de la región de Puno.

En la región de Puno, actualmente hay zonas rurales que se encuentran aisladas del sistema de distribución eléctrica. En estas áreas, las viviendas dependen de paneles fotovoltaicos de posición fija para obtener energía eléctrica. Lamentablemente, muchas de estas instalaciones presentan un bajo rendimiento.



La presente investigación contempla un exhaustivo análisis de los datos recolectados de un servomecanismo seguidor solar que busca mantener una posición perpendicular a la incidencia de la radiación solar, en comparación con un panel solar convencional estático.

La presente investigación tiene como objetivo principal brindar beneficios a la sociedad, como mejorar la toma de decisiones para lograr una generación eficiente de energía en paneles solares. Se reflejará en un aumento de la calidad de vida energética, al aumentar la generación de energía eléctrica y permitir que los usuarios puedan utilizar más dispositivos eléctricos.

Dado que con la investigación se recopiló datos reales en la región de Puno, esta investigación tiene una importante utilidad descriptiva. Esta información será útil para avanzar en proyectos en el futuro que busquen avanzar en el estudio de las fuentes de energía renovable para el bien del público en general y para el avance de la ciencia en esta área.

En varias regiones del país, el recurso solar es ampliamente disponible y abundante, superando en ciertos lugares las Condiciones Estándares de Medición estandarizadas que establecen una irradiación solar de 1000 W/m^2 . Esto significa que hay un alto potencial para aprovechar la energía solar como fuente renovable y sostenible de generación eléctrica en estas áreas. La abundancia de irradiación solar ofrece una oportunidad valiosa para implementar sistemas solares y aprovechar al máximo el poder del sol como una fuente limpia y renovable de energía. La geografía y el clima de las tierras altas de Puno son increíblemente diversos, con temperaturas variables, temporadas de lluvias intensas y vientos esporádicos como sus principales características climáticas. Además, por su gran altitud, superior a los 3800 metros sobre el nivel del mar, esta zona



se caracteriza por recibir mucha radiación solar. Para satisfacer las necesidades energéticas de la región, es fundamental implementar nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente. El ángulo de inclinación de las superficies de los módulos fotovoltaicos, el uso de sistemas de seguimiento solar y las condiciones climáticas únicas de la región de Puno son factores para lograr el mejor rendimiento que los sistemas fotovoltaicos fijos.

1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- a) ¿Presentará mejor eficiencia un sistema solar tracker con sensores tipo LDR respecto a un mecanismo fijo convencional?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Como serán características técnicas de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional?
- b) ¿Como será la irradiancia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional?
- c) ¿Qué nivel de eficiencia presentara un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- a) Analizar la eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional, en la región de Puno.



1.3.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar las características técnicas de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional.
- b) Determinar la irradiancia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional.
- c) Analizar la eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

- a) El nivel de eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR es superior al de un mecanismo fijo convencional, en la región de Puno.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Las características técnicas de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR y un mecanismo fijo convencional son óptimas.
- b) La irradiancia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR es superior al de un mecanismo fijo convencional.
- c) La eficiencia de un sistema solar tracker con sensores tipo LDR es superior al de un mecanismo fijo convencional.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Ocsirendi et al. (2023) en su artículo de investigación titulada "Dua axis solar tracker menggunakan penggerak air dengan mppt (maximum power point tracking)", abordan la creciente importancia de la energía solar como una alternativa segura y accesible. El objetivo general de este estudio es optimizar los seguidores solares para lograr una generación eficiente de energía eléctrica. La metodología propuesta implica el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes con accionamiento de agua y MPPT, abordando las limitaciones del sistema de accionamiento convencional basado en motor. Los resultados de las pruebas, realizadas entre las 07:00 y las 17:00 horas, indican que el seguidor solar con MPPT logra una potencia máxima de 17.1 vatios, representando un aumento significativo del $\pm 2\%$ en comparación con la versión sin MPPT. Estos hallazgos sugieren que la implementación de MPPT en seguidores solares de dos ejes con accionamiento de agua puede mejorar sustancialmente su rendimiento, ofreciendo una valiosa contribución a la eficiencia de generación de energía solar. Las conclusiones destacan la viabilidad y el potencial de esta innovadora propuesta para avanzar en la eficiencia de los sistemas de seguimiento solar.

Padilla et al. (2022) en su artículo de investigación "Diseño e implementación de un seguidor solar para aumentar el rendimiento de generación" realizaron el diseño y construcción de un prototipo de seguidor de luz solar, el cual consta de un panel solar de 50W acoplado a un soporte con dos ejes móviles comandados por dos motores DC cuyo movimiento es definido mediante la entrada de los sensores foto resistivos en base a cuatro cuadrantes para detectar la mayor intensidad de luz solar, que posteriormente



mediante el algoritmo de control implementado sobre un controlador Programable Delta DVP 20EX2; capaz de incrementar la eficiencia en el sistema de generación fotovoltaica y almacenar energía en una batería de 50Ah para que posteriormente el usuario pueda conectar cargas de corriente alterna a la salida del inversor de 1KW. Este proyecto demostró una mejora significativa del 20% en la eficiencia del tiempo de carga de la batería en comparación con un panel solar estático convencional. Además, el sistema implementado puede mantener dos horas de uso continuo con una carga constante de 200W. Se destaca que el sistema seguidor solar exhibe una respuesta rápida de 20 segundos frente a cualquier cambio en la dirección o intensidad del sol. El trabajo aborda detalladamente el diseño eléctrico, mecánico y de control del sistema seguidor, ofreciendo una contribución valiosa para desarrollos futuros o mejoras destinadas a maximizar su eficiencia.

Gonzales et al. (2019) en su artículo de investigación “Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos” se hace el diseño y la implementación de un sistema de seguimiento solar automatizado basado en el microcontrolador PIC 16E84. La memoria del PIC contiene un programa de aplicación que emite una secuencia de pulsos digitales para controlar un motor de posicionamiento vinculado a un engranaje conectado a un eje rotacional. Este mecanismo permite el desplazamiento horizontal de un panel fotovoltaico durante 6.7 minutos en sentido horario y un retorno a la posición inicial en sentido antihorario. Con un desplazamiento angular de 1.2 grados, el panel puede orientarse perpendicularmente a los rayos solares en cualquier momento del día, con un margen de error inferior a 24 grados en total. Para evaluar el seguidor solar de un eje, se realizarán 72 pasos durante un período de 8 horas de ángulo acimutal. El monitoreo de la radiación solar se llevó a cabo mediante una tarjeta de adquisición de datos USB con interfaz al computador, y los datos



se almacenaron en un archivo de hoja Excel. Estos datos posteriormente se compararán con los obtenidos de un panel fotovoltaico estático para evaluación y análisis.

Vilcanqui (2020) en su de investigación “Estudio para el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes auto configurable para paneles fotovoltaicos” realizó la investigación para el desarrollo del diseño conceptual de un seguidor solar de dos ejes de libertad para paneles fotovoltaicos auto configurable, esta última caracteriza, es debido a que el estudio responde a las poblaciones de localidades aisladas o de difícil acceso; en donde es inviable el acceso de personal que brinde algún tipo de configuración inicial en primer lugar, se realiza el estudio del estado del arte de las tecnologías; en donde, se investiga productos comerciales, patentes y artículos relacionados al tema; así también, se describe los componentes de un sistema fotovoltaico y los tipos de seguidores solares, posteriormente, se conceptualiza diseños de solución tomando como referencia la norma alemana para el diseño de equipos mecatrónicos VDI 2206. Después de realizar un análisis técnico-económico, se elige y crea la mejor opción, lo que da como resultado el diseño conceptual de un seguidor solar. Con sus dos ejes de movimiento angular (acimut y altitud), este dispositivo permite que los paneles fotovoltaicos se orienten de manera completa para que reciban los rayos solares en un ángulo perpendicular. El sistema también incluye un algoritmo que permite iniciar el sistema sin configuración previa. A lo largo de todas las horas solares, este método garantiza que los paneles fotovoltaicos aprovechen al máximo el nivel de radiación incidente.

Mamani y Mamani (2019) en su de investigación “Determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico marca sunbe solar tipo slp 60-12 de 60 w bajo las condiciones ambientales de Puno con énfasis en la intensidad de radiación solar” tuvieron como objetivo la determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico de 60 W en la ciudad de Puno, que es afectada principalmente por aspectos



ambientales y tecnologías utilizadas en su fabricación. La eficiencia se determinó utilizando el método de conversión de energía, que consiste en calcular cuánto de la radiación solar incidente en el panel se convierte en energía eléctrica fotovoltaica. Cada día, se utilizó una estación meteorológica automática para medir la radiación solar cada 30 minutos desde las 10:30 am hasta las 3:00 pm. Los resultados de la eficiencia del panel fotovoltaico durante los cuatro días examinados oscilaron entre 11,43 y 12,80 por ciento, con un promedio de 12,10 por ciento, en comparación con la eficiencia del 15% especificada por las especificaciones técnicas del panel, pero a condiciones estándar de 1000 W/m² a 25°C. Debido a las condiciones meteorológicas extremas, la eficiencia del panel fotovoltaico es aceptable con respecto a la eficiencia especificada en sus características técnicas.

Yildirim (2020) en su investigación titulada "Maximum Power Point Tracking Techniques for Solar Photovoltaic Applications", se adentra en la esfera de la energía fotovoltaica (FV) como una fuente de energía renovable altamente viable y menos contaminante en comparación con las fuentes de energía fósil. Reconociendo la no linealidad en la relación voltaje-corriente de los paneles fotovoltaicos, la cual está sujeta a factores ambientales, como la irradiación solar y la temperatura, la eficiencia de estos sistemas se ve afectada. En este contexto, es fundamental optimizar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos para operar constantemente en su punto de máxima potencia (MPP), a pesar de las variaciones ambientales. La tesis se centra en estudiar y analizar técnicas de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), con un enfoque particular en los métodos de perturbación y observación (P&O) y conductancia incremental (InCond). Estos algoritmos, conocidos por su fácil implementación, bajo costo y aplicabilidad en sistemas fotovoltaicos de tamaño mediano y grande, fueron probados y comparados dinámicamente. Además, se proponen modificaciones a estos algoritmos para mejorar su



rendimiento en situaciones de irradiación variable en el tiempo. Los esquemas MPPT propuestos se implementan en el circuito de control del convertidor elevador CC-CC, y los resultados de simulación en MATLAB/Simulink revelan una mejora significativa en el seguimiento y la eficiencia del sistema. Estos algoritmos mejorados minimizan las oscilaciones alrededor del MPP, logrando una convergencia más rápida de la potencia en comparación con los algoritmos convencionales, lo que sugiere su eficacia en la optimización del rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Las conclusiones resaltan el potencial de estas técnicas mejoradas para abordar los desafíos asociados con la variabilidad ambiental y mejorar la eficiencia general de los sistemas fotovoltaicos.

Sağlam (2019) en su investigación titulada "İki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik (pv) sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi", se centra en la evaluación de la eficiencia de un sistema de seguimiento solar biaxial en comparación con sistemas fotovoltaicos de eje fijo ubicados en la Escuela Secundaria de Anatolia Vocacional y Técnica de Bafra. El objetivo principal es analizar cómo el sistema de seguimiento biaxial puede mejorar la eficiencia en situaciones de sombreado, ya que los sistemas de eje fijo experimentan sombras en ciertos momentos del día. La energía generada por los sistemas fotovoltaicos se monitorea y registra a intervalos específicos utilizando inversores inteligentes, y estos datos se transmiten de forma remota a través de una conexión con una placa de circuito Raspberry Pi. El programa de conexión remota, ejecutado en el sistema operativo Windows IoT en la placa de circuito Raspberry, facilita la transferencia de valores de energía al inversor a medios digitales. La comparación se realiza entre el valor energético obtenido en los sistemas implementados, su equivalente material, los indicadores financieros como la amortización de la inversión, y se examina la idoneidad del sistema de seguimiento biaxial para la región del Mar Negro. Los análisis



se presentan de manera gráfica en un sitio web accesible para los usuarios, proporcionando una visualización clara de los resultados obtenidos.

Mancilla y Pardo (2020) enfocaron su investigación en el "Diseño a Escala de Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar para Carga de Baterías de Dispositivos Portátiles en la UAP-Jaén". Su objetivo principal fue verificar ideas de física e ingeniería, por lo que diseñaron y desarrollaron un prototipo de seguidor solar. Debido a las limitaciones presupuestarias y de tiempo asociadas con la ejecución del proyecto como parte del programa UNJ-SEICIGRA, la fabricación del prototipo se llevó a cabo a pequeña escala. El diseño de estos sistemas, ya sea en pequeña o gran escala, implica un nivel similar de desafíos tecnológicos y de conocimientos físicos, a pesar de la escala reducida. Se necesitó un diseño electrónico para el prototipo de seguidor solar que incluyera motores de paso, controladores de motor, microcontroladores y programación Arduino. Con el único propósito de demostrar el funcionamiento del mecanismo electromecánico, se construyó la estructura del prototipo con materiales reciclables. Este mecanismo se orienta automáticamente hacia el sol, ajustando su elevación y azimut según la fecha y hora correspondiente, basándose en fundamentos astronómicos.

Facho y Vidal (2019) Llevaron a cabo una investigación centrada en el "Diseño de un Panel Solar de Auto posicionamiento con Accesorio Colector para Vivienda Unifamiliar en el Caserío Pañalá - Morrope". El propósito principal era crear un panel solar que pudiera posicionarse por sí mismo y un complemento colector para una casa unifamiliar en el pueblo de Pañalá, que no cuenta con una red eléctrica tradicional y se alimenta con baterías recargables. La solución sugerida consistió en generar energía a través de energía solar fotovoltaica, lo que resultó en ahorros económicos para la familia. Para esta investigación, se utilizó una metodología de tipo descriptivo cuasi-experimental, siguiendo las pautas de Eggert Dieter y Shmict. La razón detrás de esta



decisión fue que el proyecto se basará en hechos reales y estará respaldado por reglas ya establecidas. Se descubrió que la investigación logró una eficiencia del 25% en el consumo de energía de las viviendas unifamiliares. Como resultado, se cree que el proyecto es factible para lograr un ahorro energético significativo en hogares unifamiliares.

Mohd et al. (2020) en su investigación titulada "Dual axis solar tracker with IOT monitoring system using Arduino", tienen como objetivo principal la creación de seguidores solares de doble eje con un sistema de monitorización IOT, empleando Arduino como controlador principal. La energía solar, una tecnología establecida para aprovechar la luz solar, ha sido utilizada a lo largo de los siglos y se convierte en una solución crucial en situaciones donde otras fuentes de energía son limitadas. La eficiencia de los paneles solares se mejora significativamente mediante el seguimiento solar, un proceso que ajusta la posición de los paneles para seguir el movimiento del sol. El proyecto se enfoca en el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes utilizando Arduino Uno como controlador central. Se implementaron cuatro resistencias dependientes de la luz (LDR) para la detección de luz solar y una intensidad lumínica máxima. Dos servomotores fueron utilizados para orientar el panel solar según la fuente de luz detectada por el LDR. El dispositivo ESP8266 WIFI actúa como intermediario entre el sistema y el sistema de monitoreo IOT, que consiste en un sitio web para el almacenamiento de datos. La eficiencia de este sistema se evaluó y comparó con un seguidor solar de un solo eje, revelando que el seguidor solar de dos ejes generó mayor potencia, voltaje y corriente. Como resultado, el proyecto demuestra la eficacia de los seguidores solares de doble eje en comparación con sus contrapartes de un solo eje.

Gaeid et al. (2020) en su investigación titulada "Design and implement of dual axis solar tracker system based arduino", se centraron en la relevancia del control



computarizado en la creación de células solares y el desarrollo de seguidores solares de doble eje para el posicionamiento óptimo frente al sol. El propósito fundamental de este estudio es maximizar la producción de energía, con el objetivo de reducir la temperatura del panel solar para mejorar la eficiencia del panel fotovoltaico. La implementación de la energía solar a pequeña escala se logra mediante un hardware y software integral que opera con precisión. Los componentes clave en esta investigación incluyen el Arduino Uno R3, un kit de relés, LDR (resistor dependiente de la luz), LM35 (sensor de temperatura), paneles solares de alta eficiencia y un motor satelital. El software Protuse se emplea en conjunto con Arduino Uno como control computarizado integrado. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del sistema de seguimiento en su totalidad. Este enfoque se revela como una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia de la generación de energía solar, destacando la importancia del control computarizado en la optimización de los paneles solares.

Eko et al. (2022) en su investigación titulada "Analisis perbandingan hasil daya listrik panel surya dengan solar tracker dan tanpa solar tracker", abordaron la creciente necesidad de electricidad en Indonesia mediante la exploración de la energía solar como una alternativa respetuosa con el medio ambiente. Se centra en la conversión de paneles solares estáticos a paneles que siguen dinámicamente el movimiento solar para optimizar la absorción de la luz solar. El objetivo principal es analizar la energía generada por paneles solares con y sin seguidor solar, evaluando la eficacia de la absorción de luz solar. El enfoque metodológico es comparativo, utilizando un multímetro para medir voltaje y corriente en paneles estáticos y seguidores solares. El seguidor solar incorpora 2 sensores LDR como detectores de luz solar, con el microcontrolador Arduino gestionando la orientación de los paneles solares basándose en las lecturas de los sensores. Las pruebas se realizan durante 8 horas, de 08:00 a 16:00 WIB. Los resultados revelan que los paneles



solares con seguidor solar logran una eficiencia y absorción de luz solar significativamente mayores, con un aumento del 74,07% en la corriente y un 73,84% en la potencia en comparación con los paneles estáticos. Este estudio destaca la eficacia y optimización de los paneles solares con seguidor solar para la absorción de luz solar, posicionándolos como una opción más eficiente en la generación de energía.

Lewandoski et al. (2021) en su investigación titulada "The advantages of solar tracker", exploraron los sistemas de seguimiento solar como una estrategia para mejorar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos mediante el ajuste dinámico de su posición con respecto al sol, incrementando así la generación de energía eléctrica. La incorporación de sistemas de seguimiento solar en una planta fotovoltaica ofrece una solución más amplia para las necesidades energéticas en un espacio reducido. La viabilidad de esta integración se ve respaldada por tecnologías como el acceso a Internet mediante Wi-Fi, que facilita la inclusión de sistemas en la esfera de la "Nube" y la Automatización 4.0. En este trabajo, se diseñó y desarrolló un seguidor solar "de circuito abierto", pionero en Brasil a escala de planta, que ejecuta un algoritmo de seguimiento mediante un PLC programado, con un módulo Wi-Fi integrado. Este enfoque allana el camino para la integración de sistemas de generación de energía en la nube, permitiendo un monitoreo continuo del desempeño del sistema con seguimiento solar, ampliando así las posibilidades de eficiencia y control.

Sawant et al. (2019) en su artículo titulado "Design and analysis of automated dual axis solar tracker based on light sensors" En este proyecto se presentó los sistemas de seguimiento solar de eje único y eje doble. El diseño se basa en un microcontrolador y se utilizó LDR (resistencia dependiente de la luz como sensor para calcular la intensidad de la luz. los componentes requeridos y sus calificaciones son fijos. Además, se diseñó el algoritmo para controlar el movimiento del rastreador. El análisis para una eficiencia óptima se compara entre el eje único y el seguimiento de doble eje. Se observa una mejora



significativa en la eficiencia del sistema Dual Axis sobre el sistema Single Axis. Las lecturas mostraron que la eficiencia del eje doble es mayor que el eje único en un 24.78%. La configuración experimental fue diseñada para el seguidor solar de doble eje y el seguidor solar de un solo eje considerando todos los aspectos relacionados con él.

Nguyen y Ho (2020) en su artículo titulado “Design, implementation and performance analysis of a dual axis solar tracking system” presentaron el diseño y la construcción del sistema de seguimiento solar de doble eje para garantizar la máxima ganancia de energía. El sistema de seguimiento solar seguirá automáticamente la posición del sol para maximizar la intensidad de la luz emitida por el sol. Cuando la intensidad de la luz disminuye, el sistema cambia automáticamente su dirección para obtener la máxima intensidad de luz. La resistencia dependiente de la luz (LDR) se utiliza para rastrear las coordenadas del sol. Los dos servomotores que reciben señales de la unidad central de procesamiento girarán el panel solar a la ubicación adecuada para un rendimiento óptimo. Los resultados energéticos obtenidos por el sistema solar de doble eje se comparan con los sistemas solares fijos y simples. Esta investigación proporciona un uso óptimo de la energía solar.

Amadi y Gutierrez (2019) en su artículo titulado “Design and performance evaluation of a dual-axis solar tracking system for rural applications” diseñaron, implementaron y evaluaron el rendimiento de un sistema de seguimiento solar de doble eje (DATS) utilizando sensores de resistencia dependiente de la luz (LDR), motores de corriente continua (DC) y microcontrolador para que sea capaz de proporcionar un suministro eléctrico ininterrumpido para aplicaciones rurales. Los resultados del experimento muestran que el sistema propuesto es más rentable y produce un 31,4 % más de energía que el sistema de seguimiento de un solo eje (SATS) y un 67,9 % más que el sistema de panel fotovoltaico fijo (FPPS). Debido al diseño único del sistema de



seguimiento propuesto, la energía solar se puede rastrear y almacenar continuamente para que haya electricidad adecuada para la población consumidora en todo momento. Aunque se probó en una comunidad rural en el estado de Abia, Nigeria, el sistema propuesto se puede adaptar a comunidades rurales en cualquier parte del mundo.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Concepto de energía

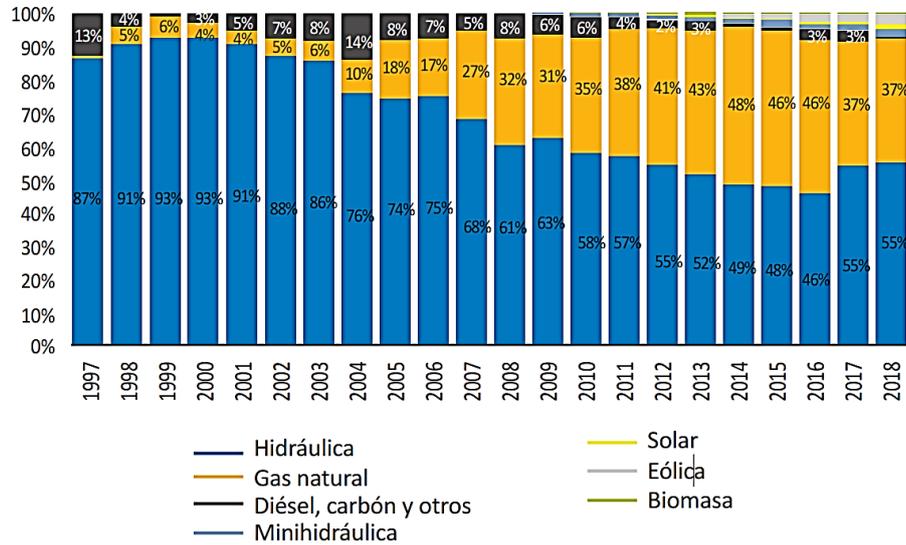
La energía es una cantidad física que se presenta principalmente en forma de trabajo o calor. En este sentido, se puede definir la energía de un cuerpo como su capacidad para realizar trabajo o generar calor (Ortega y Cañadas, 2015).

2.2.2. Estado de las energías renovables en el Perú

Entre 1997 y 2018, la generación de electricidad aumentó de 12,170 GWh a 50,817 GWh a una tasa anual del 7.04%. Durante este tiempo, la estructura de la matriz energética del país sufrió transformaciones significativas. La producción hidroeléctrica representó en promedio el 89,7% del total entre 1997 y 2003. No obstante, desde el inicio del Proyecto Camisea en 2004, la producción de energía eléctrica a partir de gas natural ha experimentado un incremento, alcanzando un nivel máximo del 48 % en 2014. Las centrales de recursos energéticos renovables (RER) aumentaron posteriormente la participación, pasando de tener una participación nula en 2008 a representar el 7.2% en 2018 (ver Figura 1 y Figura 2). Cabe destacar que, si bien la participación de la energía eléctrica por centrales hidráulicas se ha reducido con respecto a inicios del año 2000, en términos absolutos ha seguido aumentando debido a que la producción total de electricidad tiene una tendencia de crecimiento positiva (*Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*, 2019).

Figura 1

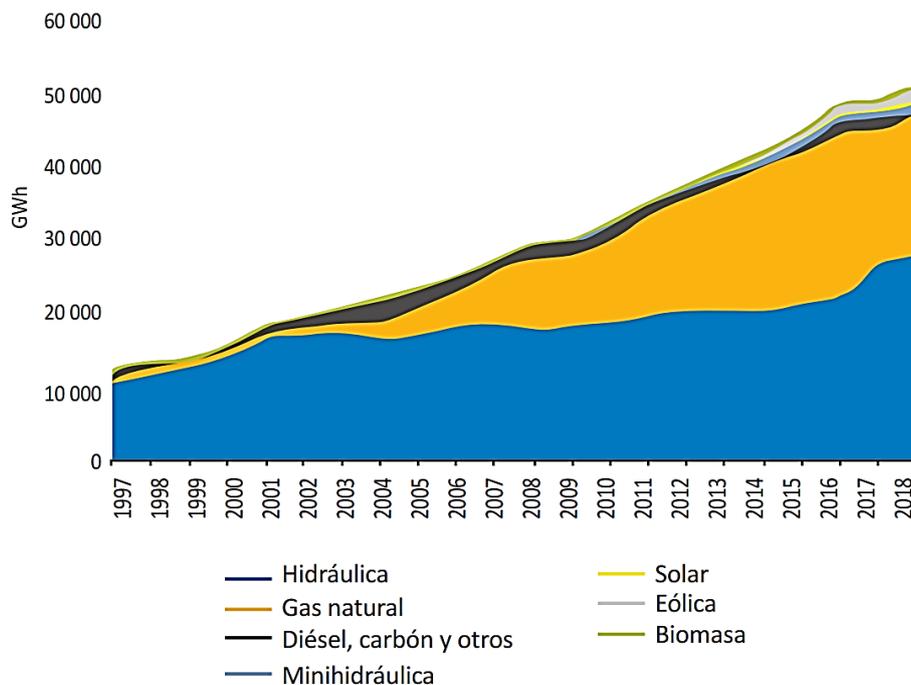
Participación en la producción de energía eléctrica (SEIN) por tipo de generación



Nota: Extraído de: COES (2019). Elaboración: GPAE-Osinergmin

Figura 2

La evolución de la producción de energía eléctrica (SEIN) en función del tipo de generación



Nota: Extraído de: COES (2019). Elaboración: GPAE-Osinergmin



2.2.3. Energía solar

La energía solar se genera a través de reacciones nucleares de fusión que ocurren en el núcleo del sol a una profundidad significativa. Estas reacciones liberan energía al fusionarse átomos de hidrógeno, liberando átomos de helio. La fotosfera, donde se propaga esta energía desde el interior hasta la superficie solar, es el lugar desde donde se irradia en todas las direcciones (Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas, s. f.).

2.2.3.1. Energía solar pasiva

Implementa el uso efectivo del sol en el diseño arquitectónico de las viviendas. Es la fuente más simple de energías renovables (Tobajas, 2005).

2.2.3.2. Energía solar fotovoltaica

Consiste en el aprovechamiento de la irradiación solar, convirtiéndola en energía eléctrica (Tobajas, 2005).

2.2.3.3. Energía solar térmica

Aprovecha la irradiación solar para su conversión en calor, ya sea para su uso en agua caliente sanitaria o como calefacción por medio de suelo radiante (Tobajas, 2005).

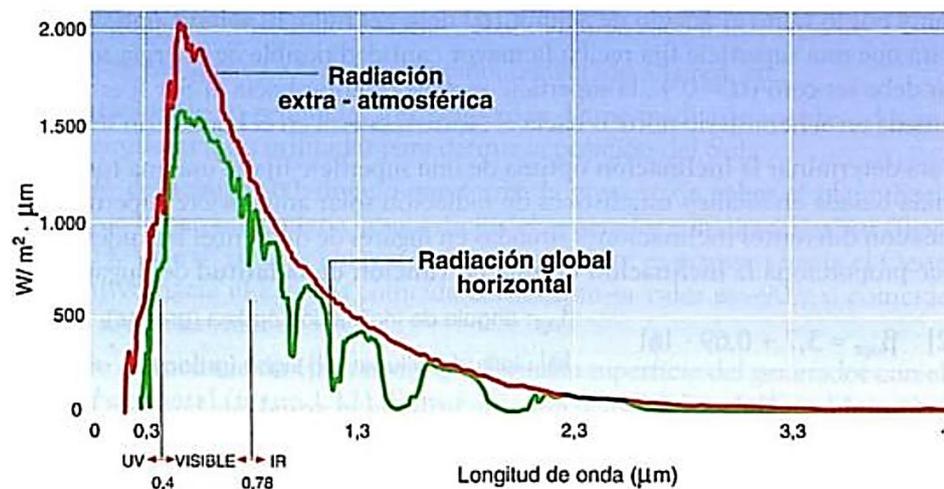
2.2.4. Radiación solar

La energía solar se produce en el núcleo del sol a través de reacciones nucleares de fusión. Esta energía, denominada radiación solar, se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre como un

conjunto de radiaciones que constituyen el espectro electromagnético. El espectro abarca un rango de longitudes de onda aproximadas de 0,15 μm a 4 μm (Castejón y Santamaria, s. f.).

Figura 3

Espectro electromagnético de la radiación solar extra - atmosférica y en la superficie terrestre.



Nota: Extraído de:(Castejón y Santamaria, s. f.)

2.2.5. Irradiancia solar

Existe un término, para distinguir entre la potencia y la energía, llamado irradiancia que designa la densidad de potencia incidente en una superficie por unidad de tiempo o la energía incidente por unidad de tiempo, se mide en Kw/m² (Tobajas, 2005).

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

2.2.6. Irradiación solar

La irradiación solar es la integral a lo largo de un período temporal de la irradiancia, lo que significa que representa la energía de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie específica. Sus unidades en el S.I. son Wh/m² (Perpiñán, 2023).

$$\text{Irradiación} = \frac{\text{Potencia} \cdot \text{Hora}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{Kw} \cdot \text{h}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

2.2.7. Factores que afectan la cantidad de radiación solar que recibe la

Tierra

Hay dos tipos diferentes de variables a considerar al estudiar la radiación solar:

- Variables astronómicas y geográficos.
- Variables atmosféricas.

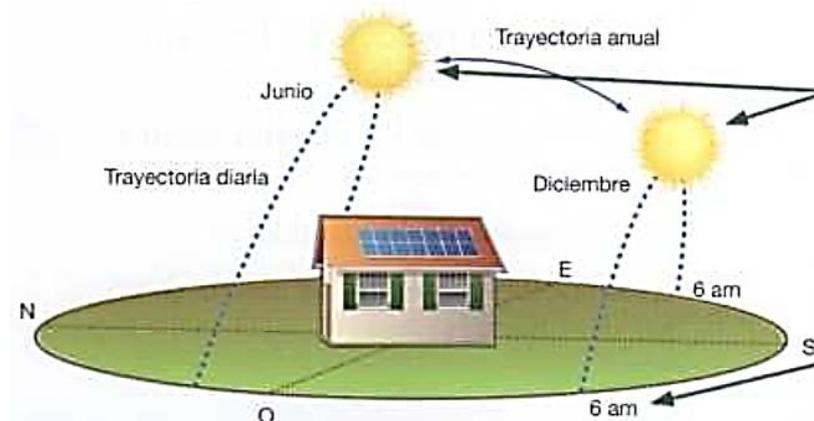
Ambos factores determinarán la cantidad de radiación solar que se recibe en un lugar específico.

2.2.7.1. Variables astronómicas y geográficos

Se deben considerar las dos trayectorias del sol, una anual y otra diaria, a la hora de calcular la radiación solar en la zona donde se ubicará la instalación fotovoltaica ver Figura 4.

Figura 4

Trayectorias descritas por el Sol



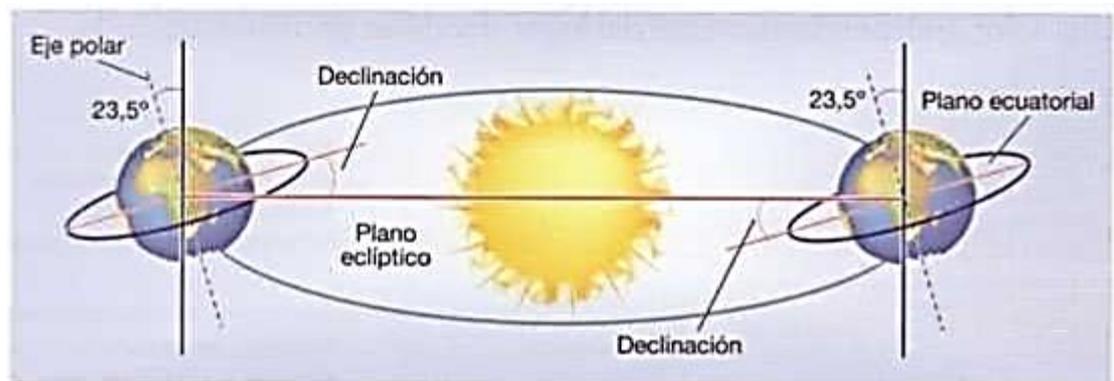
Nota: Extraído de:(Diaz y Carmona, s. f.)

Como resultado, la cantidad de radiación recibida se basará en la ubicación geográfica, específicamente la altitud.

El ángulo de declinación que presenta la posición de la tierra con respecto al sol, que tampoco es constante y cambia diariamente, debe ser tomado en consideración al momento de orientar los paneles solares ver Figura 5.

Figura 5

Declinación con respecto a la tierra-sol



Nota: Extraído de:(Diaz y Carmona, s. f.)

Aunque existe una fórmula para determinar los valores de dicho ángulo en función del día, en realidad veremos que para determinar la inclinación de los paneles solares se utiliza una estimación del ángulo de declinación.

2.2.7.2. Variables atmosféricas

Antes de alcanzar la superficie de la Tierra, la luz solar se ve afectada por una serie de condiciones. ver Tabla 1.

Tabla 1

Fenómenos atmosféricos sobre la radiación solar

Fenómeno	Explicación	Ejemplo
Dispersión	Producida por la presencia de partículas de polvo en sus- pensión y de moléculas de agua. Parte de la energía es desviada, y no llega a la Tierra	
Reflexión	Fenómeno sufrido por la radiación solar extraterrestre al llegar a la atmósfera, debido a la presencia de nubes, moléculas de vapor de agua, etc. Parte de las radiaciones recibidas son devueltas de nuevo al espacio, con lo que no llegan a la superficie terrestre	
Difracción	Fenómeno provocado sobre la radiación solar por las nubes. Al llegar sobre ellas los rayos solares, se descomponen en múltiples trayectos de menor energía que el rayo incidente	
Absorción	Parte de la radiación que llega a la atmósfera es absorbida por los gases presentes en ella (oxígeno, ozono, etc.) y no puede ser recibida en la superficie terrestre	(invisible)

Nota: Extraído de:(Diaz y Carmona, s. f.)

2.2.8. Tipos de radiación solar sobre una superficie

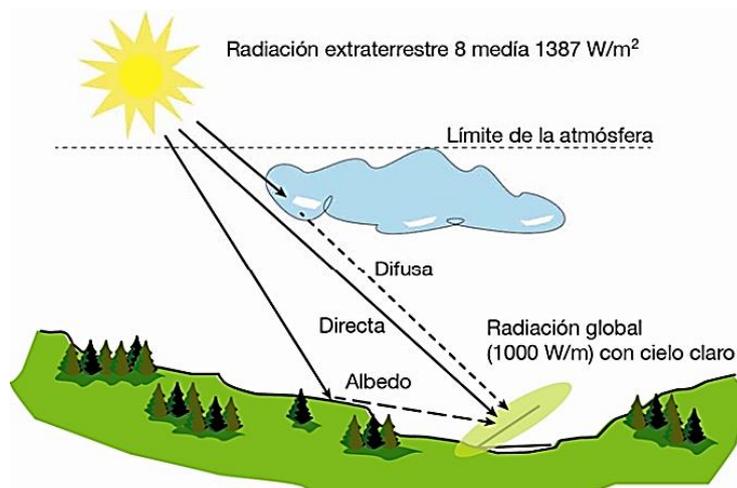
El principal aporte energético del sol viene a través de la radiación directa, sin embargo, en días nublados, es la radiación difusa, la que permite una considerable luminosidad (Borja, 2020).

Así, se pueden establecer tres grandes categorías de radiación:

- **Radiación directa:** La latitud es el ángulo formado por el plano del ecuador y la vertical del punto geográfico que se estudia (Ortega y Cañadas, 2015).
- **Radiación difusa:** Procede de la atmosfera, y es la consecuencia de los procesos de reflexión, difracción, etc (Diaz y Carmona, s. f.).
- **Radiación reflejada:** También conocida como radiación albedo, es la radiación que la superficie terrestre refleja hacia el receptor. La naturaleza de las montañas, lagos, edificios, etc. que rodean al receptor tiene un impacto directo en su cantidad (Castejón y Santamaria, s. f.).

Figura 6

Componentes de la radiación solar incidente en la superficie terrestre



Nota: Extraído de: (Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas, s. f.)

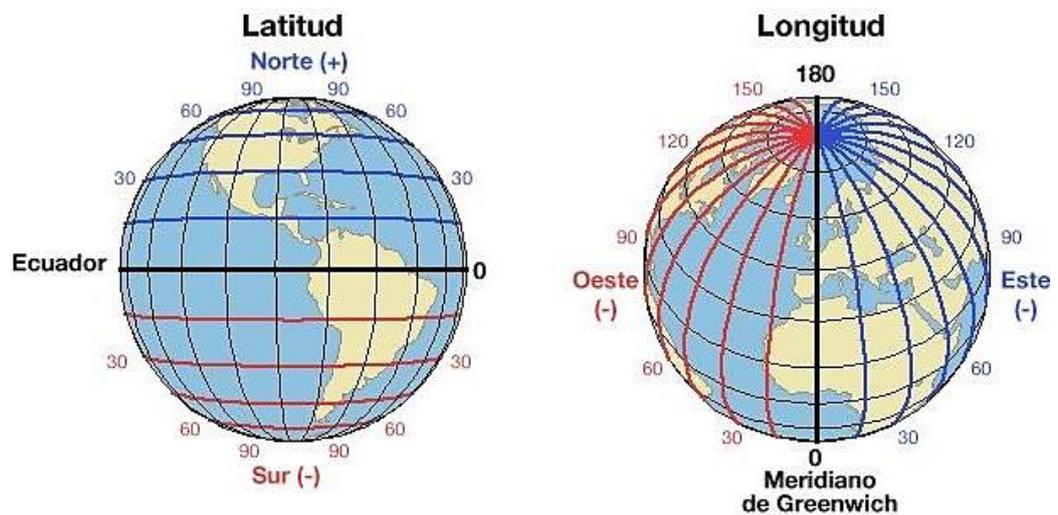
Por lo tanto, la radiación total recibida constituye la suma de estos tres tipos de radiación.

$$R_{\text{total}} = R_{\text{directa}} + R_{\text{difusa}} + R_{\text{reflejada}} \quad (3)$$

2.2.9. Coordenadas y movimientos de la Tierra

Figura 7

Latitud y longitud



Nota: Extraído de: (Borja, 2020)

2.2.9.1. Latitud

La latitud es el ángulo entre el plano del ecuador y la vertical del punto geográfico que se estudia.

2.2.9.2. Longitud

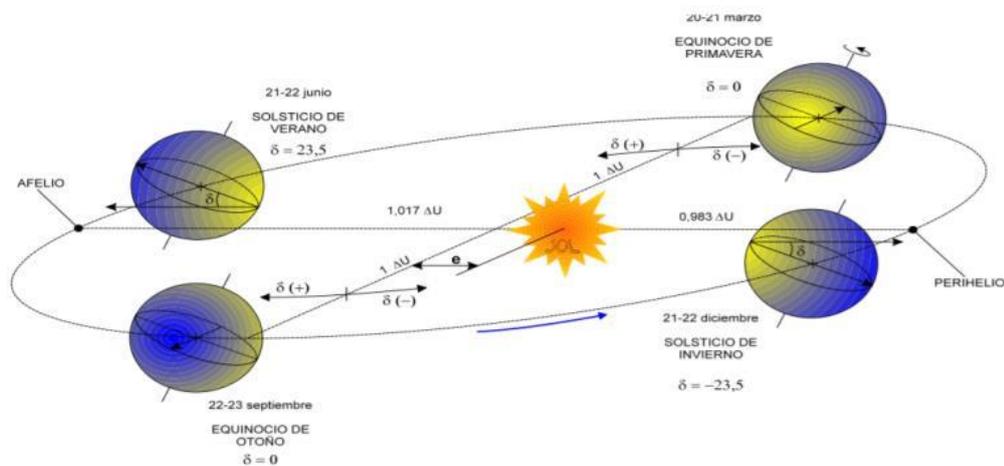
La longitud de una ubicación en el planeta es el ángulo medido desde el meridiano de Greenwich moviéndose hacia el este.

2.2.10. Movimientos de la Tierra

La Tierra órbita alrededor del Sol de manera periódica, siguiendo una trayectoria elíptica donde el Sol ocupa uno de los focos. Debido a que esta órbita no es circular, se generan variaciones en la distancia entre la Tierra y el Sol a lo largo del año.

Figura 8

Movimiento terrestre alrededor del Sol



Nota: Extraído de: (Borja, 2020)

La variación de radiación que experimenta la Tierra a lo largo de las distintas estaciones, y que tiene un impacto significativo en las temperaturas cambiantes, se debe a que el plano elíptico de la Tierra no es perpendicular al eje de rotación terrestre. Esto da lugar a un ángulo conocido como el ángulo de declinación solar.

De esta forma, los meses más calurosos serán debidos fundamentalmente a una mayor perpendicular de los rayos solares incidentes (Borja, 2020, pp 35-36).

2.2.11. Declinación

La declinación (δ) es el ángulo que forma el plano del ecuador de la Tierra con la línea en el plano de la eclíptica que conecta los centros del Sol y de la Tierra (Figura 8 y Figura 9). Este ángulo experimenta variaciones a lo largo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, alcanzando valores máximos durante los solsticios de verano (declinación máxima positiva, $\delta = 23,45^\circ$) e invierno (declinación máxima negativa, $\delta = -23,45^\circ$), y valores nulos durante los equinoccios (declinación nula, $\delta = 0^\circ$). Aunque la declinación varía, se puede considerar constante durante el transcurso de un día (Castejón y Santamaria, n.d.-b, p. 10).

La declinación para un explícito día del año se calcula mediante la formula:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + \delta_n}{365}\right) \quad (4)$$

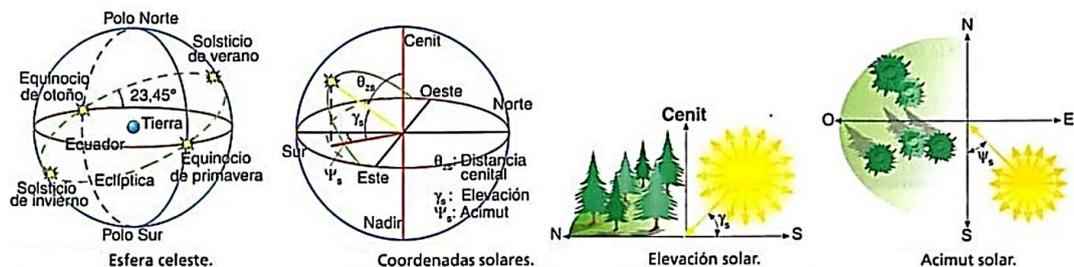
δ : declinación (grados)

δ_n : día del año 1-365

2.2.12. Coordenadas solares

Figura 9

Detalles de las coordenadas solares



Nota: Extraído de:(Castejón y Santamaria, s. f.)



2.2.12.1. Elevación solar

Se le denomina así al ángulo formado por los rayos del sol con la superficie horizontal. Sus valores oscilan entre $(90^\circ - A1 - A2)$ en el solsticio de invierno a $(90^\circ - A1 + A2)$ en el solsticio de verano, siendo A1 la latitud del lugar y A2 la declinación (Ortega y Cañadas, 2015b, p. 38).

2.2.12.2. Acimut solar

Es el ángulo de inclinación del Sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo solar sobre dicho plano y tomando como origen el sur, en el hemisferio norte. De manera equivalente, en el hemisferio sur, el origen del acimut se toma desde el norte (Ortega y Cañadas, 2015b, p. 38).

2.2.12.3. Ángulo o distancia cenital

Este ángulo es el complemento del ángulo de elevación solar y se forma entre la dirección del sol y la vertical (Castejón y Santamaria, n.d.-b, p. 10).

2.2.13. Energía solar fotovoltaica

Energía renovable que utiliza un haz de fotones para iluminar semiconductores y generar corriente continua (medida en vatios o kilovatios). Cuando la luz incide sobre una célula solar, que es el término utilizado para referirse al componente fotovoltaico individual, se produce energía eléctrica. La generación de electricidad también deja de ocurrir cuando la luz desaparece. A diferencia de las baterías, las células solares no requieren carga. Algunas de estas células solares han estado funcionando continuamente durante más de tres



décadas, ya sea en aplicaciones terrestres o en el espacio (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2007).

2.2.14. La célula fotovoltaica

La célula solar fotovoltaica estará formada por la unión de 2 materiales semiconductores, uno tipo N y otro tipo P haciendo la unión P-N o unión diodo. Al incidir la luz solar aparece un campo eléctrico desde la zona N donde están los electrones libres hasta la zona P donde existen los huecos, aunque dentro del semiconductor las cargas están compensadas, aparecen polaridades localizadas en la interfase unión P-N (Tobajas, 2005b, p. 46).

Existe una variedad de células fotovoltaicas:

- Células monocristalinas.
- Células policristalinas.
- Células de silicio amorfo.
- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre.
- Células de Arsenio de galio.
- Células bifaciales.

2.2.15. Parámetros de una célula fotovoltaica

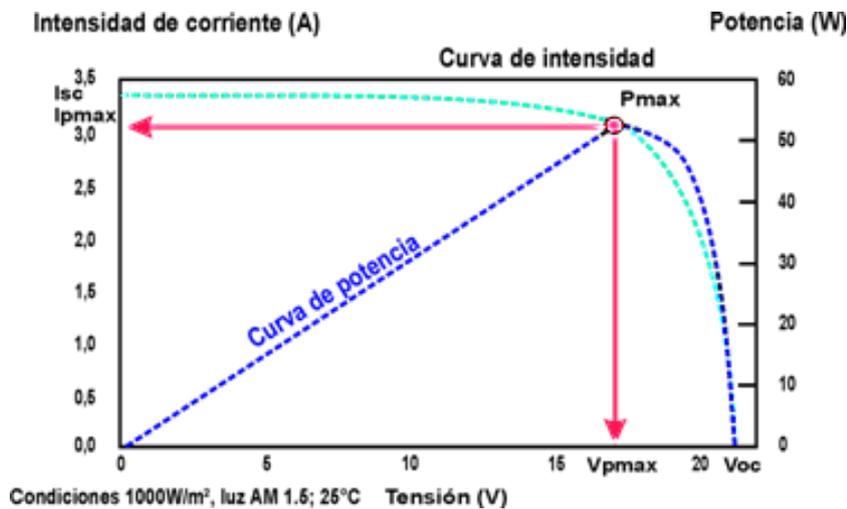
Las siguientes son las características eléctricas clave de las células fotoeléctricas:

- Voltaje en circuito abierto.
- Corriente de cortocircuito.

- Potencia máxima, con sus correspondientes valores de tensión e intensidad.

Figura 10

Análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos



Nota: Extraído de: (Panel solar fotovoltaico, análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos, s. f.)

2.2.16. Características estandarizadas de un módulo solar

Según Curso Básico Energía Solar Fotovoltaica (n.d.):

La cantidad de energía generada por un panel solar es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida por lo que poder para comparar distintos paneles en igualdad de condiciones deberemos establecer unos parámetros estandarizados de funcionamiento, las denominadas Condiciones Estándar de Medida conocidas por sus siglas en español (CEM) o en inglés (STC):

- Irradiancia solar 1000 W/m²
- Temperatura de célula 25°C
- Masa de aire AM 1,5

(p. 59)



2.2.17. Efectos de la irradiación y la temperatura

Con las características estandarizadas se pueden construir las curvas características, pero estas pueden verse afectadas por la irradiación y la temperatura presente. Pareja (2010) afirma que:

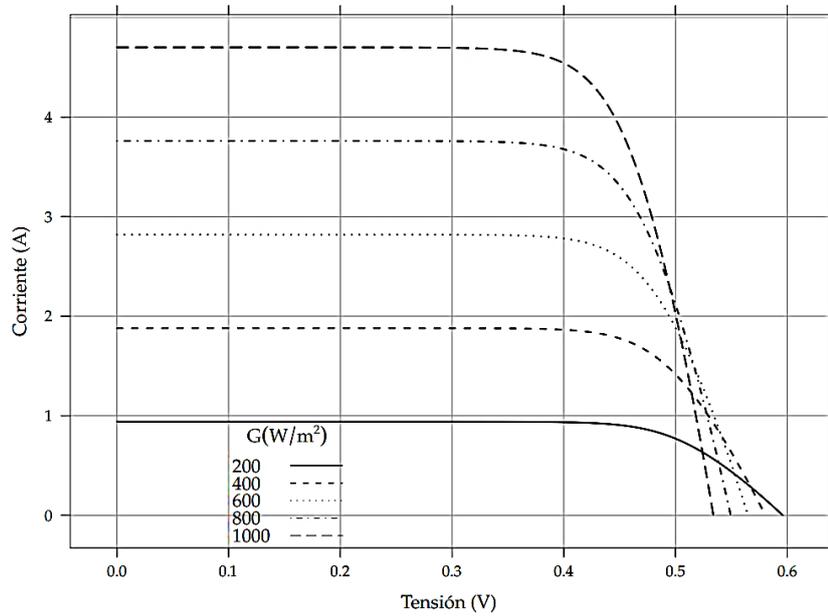
Se pueden ser distintos en función de la irradiación solar, puesto que la corriente generada va directamente relacionada con la irradiación solar. De tal forma que contra mayor sea la irradiación mayor será el valor de corriente generada, es decir la corriente en cortocircuito ver Figura 11.

Lo mismo ocurre con las variaciones de temperatura, pero estas afectan el punto de potencia máxima (P_{max}), la tensión máxima (V_{pmax}) y la tensión en circuito abierto (V_{oc}). Estos valores tienden a disminuir con el aumento de la temperatura. También influyen sobre la corriente en cortocircuito provocando que está aumente al aumentar la temperatura, pero este aumento es menos significativo que las variaciones de tensión, por ello la potencia también disminuye ver Figura 12 (pp 61-62).

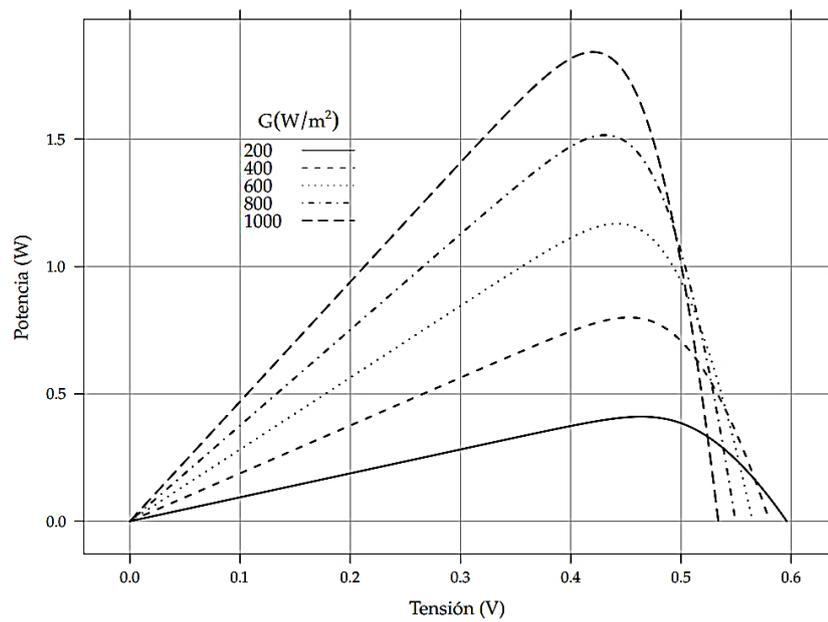
Figura 11

Efecto de la irradiancia en la curva característica de una célula solar ($T_a = 20$

°C)



(A) Curva I-V.

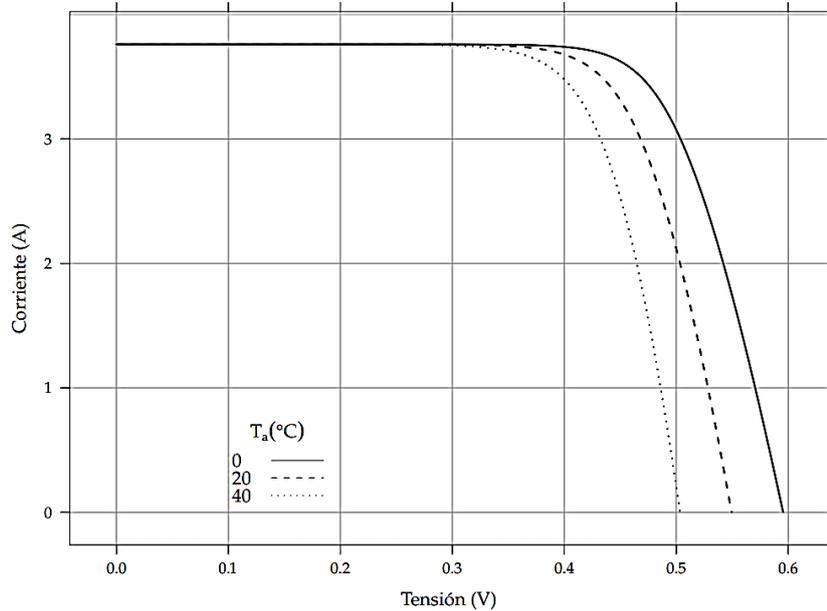


(B) Curva P-V.

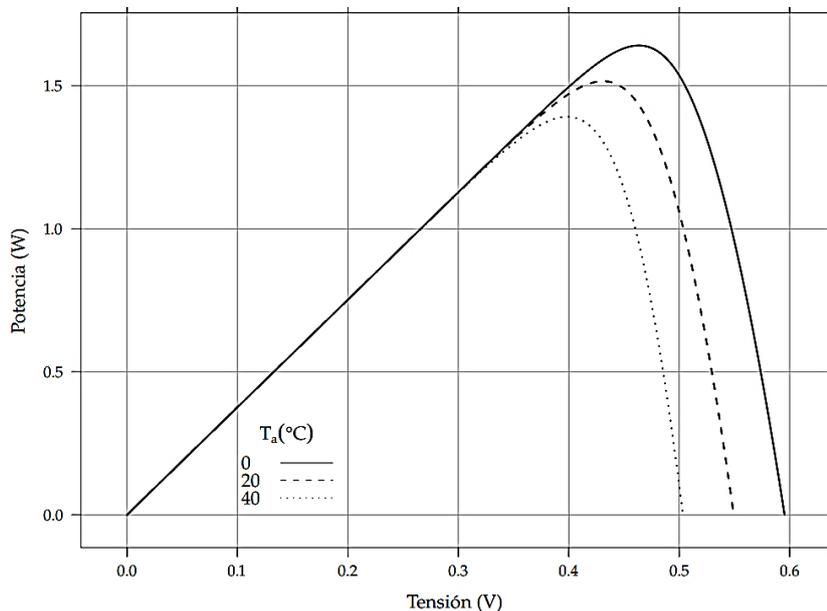
Nota: Extraído de: (Perpiñán, 2023)

Figura 12

Efecto de la temperatura en la curva característica de una célula solar ($G = 800$ W/m²)



(A) Curva I-V.



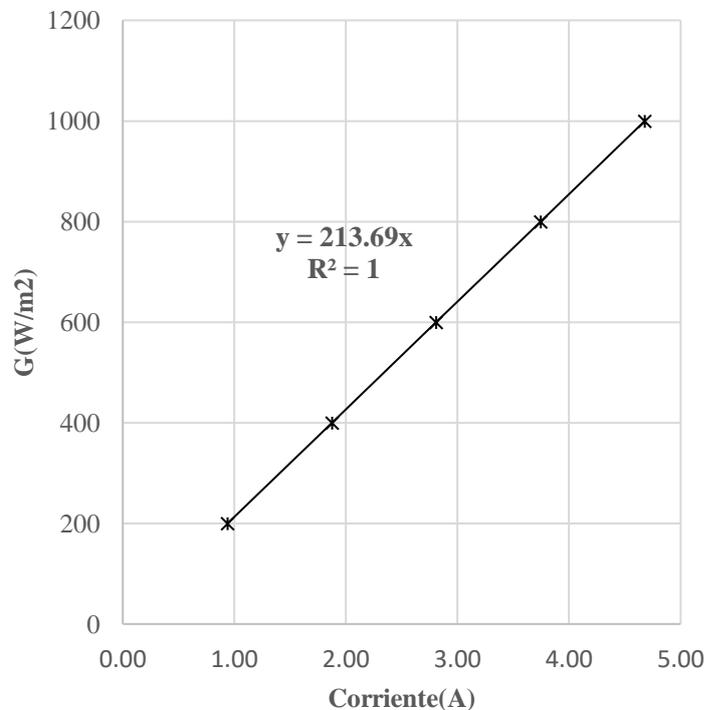
(B) Curva P-V.

Nota: Extraído de: (Perpiñán, 2023)

De la Figura 11(A) se puede ilustrar el comportamiento y la escalabilidad lineal de la radiación incidente en base a la corriente de corto circuito medido tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 13

Corriente de corto circuito vs irradiación incidente de una célula solar Figura 11(A)



Elaborado por el equipo de trabajo

De la Figura 11 y Figura 12 podemos concluir que la irradiación incidente influye directamente en la corriente de cortocircuito de una célula fotovoltaica de tal manera que podemos establecer tal como se indica en la ecuación (5) una relación directa entre las condiciones estándar declaradas por el fabricante y las de funcionamiento real del panel según la radiación de la localidad y en tal caso se pudiese medir la irradiación incidente en base a la corriente de corto circuito medida, mediante la siguiente expresión matemática:

$$G_i(\text{W/m}^2) = 1000(\text{W/m}^2) * \frac{I_{sc\ i}}{I_{sc\ std}} \quad (5)$$

$G_i(\text{W/m}^2)$: Irradiancia incidente.



$I_{sc\ i}$: Corriente de corto circuito medido.

$I_{sc\ std}$: Corriente de corto circuito bajo condiciones estándar.

2.2.18. Curva de irradiancia

La curva de irradiancia es un gráfico que muestra cómo cambia la potencia de la radiación solar que llega a una superficie a lo largo del tiempo. Esta representación gráfica está influenciada por diversos factores, incluyendo la ubicación geográfica, la orientación e inclinación de la superficie, la estación del año, la hora del día y las condiciones atmosféricas.

2.2.19. Instalaciones fijas y con seguimiento solar

Podemos clasificarlas en dos grandes grupos.

- Estructuras fijas.
- Estructuras de seguimiento solar.

Las **estructuras fijas** se fijan a valores óptimos predeterminados y tienen pendiente y orientación que no se pueden cambiar automáticamente.

Para garantizar que los rayos del sol incidan en los paneles solares de la forma más perpendicular posible y maximizar la absorción de energía, las **estructuras de seguimiento solar**, también conocidas como seguidores solares, cambian su orientación, ángulo de inclinación o ambos.

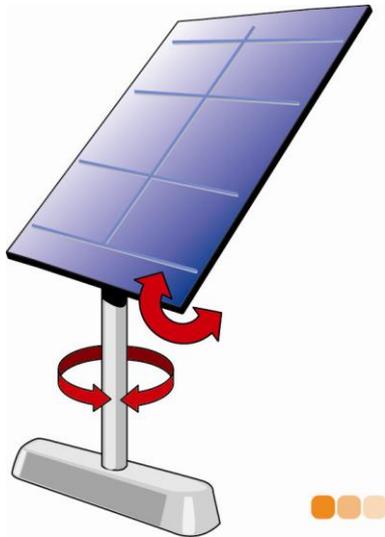
2.2.20. Seguidor solar de dos ejes

tanto la inclinación como la orientación de la superficie captadora son variables, lo que permite seguir la posición acimutal y el ángulo de altura solar obteniendo siempre una posición perpendicular a los rayos solares. Con este

sistema se obtiene el máximo aprovechamiento de la radiación solar (Montaje y Mantenimiento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas, n.d.-b, p. 35).

Figura 14

Seguidor solar de dos ejes



Nota: Extraído de: (*Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas*, s. f.)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Nivel de investigación

La investigación cuenta con un estudio de alcance Descriptivo-Comparativo, ya que, mediante los estudios descriptivos, se pretende detallar las propiedades, características y perfiles de individuos, grupos, comunidades, procesos, objetos u otros fenómenos sujetos a análisis. Estos estudios buscan medir o recopilar información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables que abordan, sin tener como objetivo principal revelar las interrelaciones entre ellos (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación sirve como la guía práctica en el camino cuantitativo, siendo el punto de convergencia entre las fases conceptuales del proceso y la ejecución de la recolección y análisis de datos (Hernández y Mendoza, 2018). Cada idea de investigación puede requerir un diseño particular que se adapte a sus objetivos y preguntas de investigación. Por lo tanto, es válido afirmar que existen múltiples diseños de investigación, ya que cada uno se ajusta de manera única a las necesidades y características de un estudio en particular. En el caso de la presente investigación, se utilizó un diseño no experimental-longitudinal, lo que implica que se llevó a cabo la obtención de información sin manipular los valores de las variables, es decir tal y como se manifiestan las variables en la realidad por ser no experimental (Borja, 2012), tales mediciones



de la variable de estudio se tomaron en diferentes momentos a lo largo de un período temporal del hecho se ser longitudinal. Además, este estudio es descriptivo según el número de variables analíticas. En lo que respecta a su propósito, se trata de una investigación aplicada, ya que se busca obtener conocimientos prácticos y aplicables en un contexto específico. En términos de inferencia, se utilizó un enfoque inductivo para comprender cómo funciona la realidad a partir de los datos recopilados. Por último, el estudio se llevó a cabo en un entorno de laboratorio, lo que significa que se realizaron las investigaciones en un lugar controlado y específico.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población objeto de estudio en esta investigación está compuesta por módulos fotovoltaicos implementados con un sistema seguidor solar mediante sensores LDR, así como módulos estáticos fijos convencionales.

3.2.2. Muestra

La muestra de estudio en esta investigación consiste en dos módulos fotovoltaicos. Uno de ellos está equipado con un sistema seguidor solar que utiliza sensores LDR, mientras que el otro es un módulo estático fijo convencional. Estos dos módulos serán seleccionados para el análisis y la comparación en el estudio, con la finalidad de analizar su rendimiento y eficacia en la generación de energía solar.



3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El lugar de estudio para esta investigación se encuentra en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, situado en la Universidad nacional del altiplano en la ciudad de Puno, Perú. Las coordenadas geográficas del laboratorio son 15°49'27"S 70°00'48"W. Este laboratorio proporcionó el entorno controlado y las instalaciones necesarias para llevar a cabo las pruebas detalladas de los sistemas fotovoltaicos en estudio.

La ciudad de Puno está localizada en la altiplanicie peruana, caracterizada por su peculiar relieve montañoso y elevada altitud, que oscila alrededor de 3,830 metros sobre el nivel del mar. La altiplanicie, con sus extensas mesetas y montañas, presenta desafíos y ventajas únicas para la instalación de sistemas solares, dada su topografía mayormente plana que facilita la colocación de los paneles y minimiza las obstrucciones a la radiación solar directa.

En cuanto a las características climatológicas del altiplano puneño, Puno experimenta variaciones climáticas notables a lo largo del año. La región se caracteriza por un clima frío y seco, con temperaturas que pueden descender considerablemente durante la noche. Los días soleados son comunes, aunque la ciudad también enfrenta días nublados y eventos esporádicos de lluvia. Estas condiciones climáticas variables ofrecen un escenario ideal para evaluar la eficiencia y adaptabilidad de los sistemas fotovoltaicos, permitiendo una investigación exhaustiva sobre su rendimiento bajo diversas circunstancias climáticas en la altiplanicie de Puno.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR CON SENSORES TIPO LDR

3.4.1. Estructura mecánica

Se utilizaron materiales simples y de bajo costo con el fin de realizar una construcción sencilla. Consiste básicamente en toda la estructura metálica del sistema, como es la base, columna, puntos de giro para su libre movimiento en ambos ejes, canastilla de soporte para el panel solar, como se observa.

Figura 15

Diseño final de seguidor solar



Elaborado por el equipo de trabajo

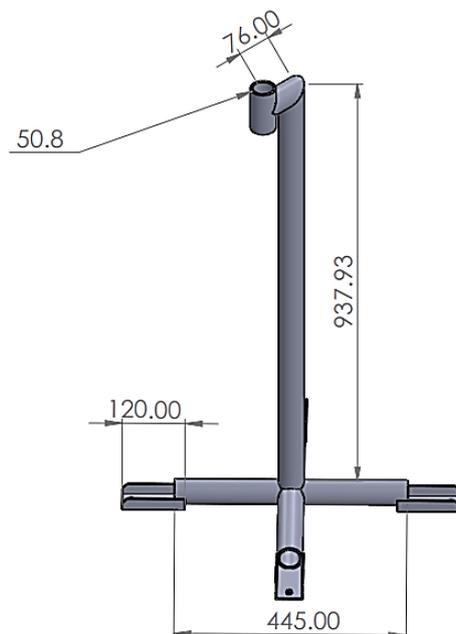
3.4.2. Soporte de base

La parte de la base está compuesto por la unión de dos tubos de perfil circular de 2mm de espesor por 2 pulgadas de diámetro, en cada extremo está unido con perfil de tipo U de 12 cm con el cual se va a fijar.

En el centro se unió un tubo de perfil circular de 2mm de espesor por 2 pulgadas de diámetro y una longitud de 0.93 metros para poder lograr altura y no tener problemas con objetos que puedan ocasionar sombras o interrumpir el funcionamiento del seguidor, básicamente la estructura debe soportar el esfuerzo de la curvatura. Para esto se ha elegido un tubo de 2 pulgadas por 2 mm de espesor, con lo cual se garantiza el soporte ante el efecto de curvatura causado por las cargas a soportar.

Figura 16

Columna inferior



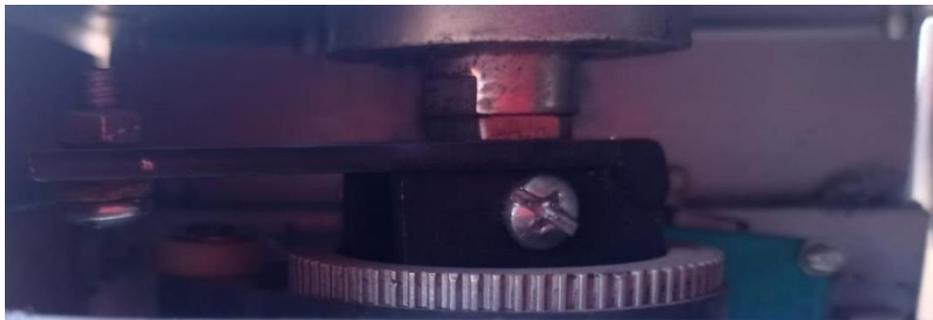
Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.3. Motor eje horizontal

El motor debe tener el torque suficiente para rotor en su eje, debe vencer el estatismo del peso que se encuentra en su eje, como son sistema de movimiento en eje horizontal, canastilla y el panel solar. Sabemos que un motor con un bajo rpm se tiene un alto torque, para obtener esto se añadió un engranaje de para así aumentar estos valores, logrando obtener un 1 RPM y un torque de 80 NM.

Figura 17

Motor eje horizontal



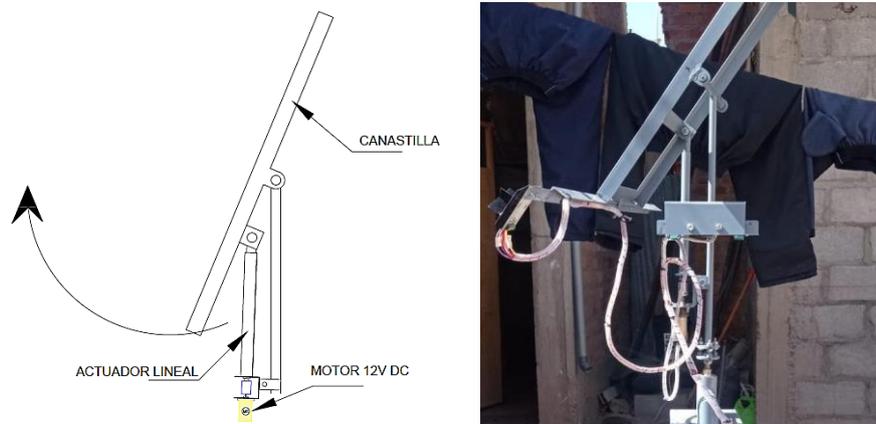
Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.4. Motor eje vertical

Para el movimiento de este eje, se optó por la impulsión por medio de un actuador lineal, el motor elegido es de la marca D.C. COPAL MOTOR-LC30G-191SN 12V, con una revolución de 34 RPM, un torque de 50 Nm. Suficiente para vencer la fuerza de estatismo. En la Figura 18 se muestra el diseño y ubicación.

Figura 18

Motor eje vertical



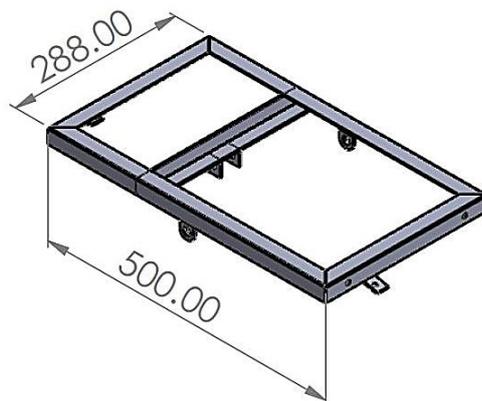
Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.5. Soporte de panel solar

Para el soporte del panel solar se utilizará perfil de acero angular ASTM A36 de 1"x1"x2mm de espesor, con capacidad de alojar 01 panel de 0.80 cm x 0.90 cm, en la parte superior e inferior se acoplará un perfil angular de 79.00cm para una mejor ubicación del panel, en la figura se muestra el diseño.

Figura 19

Soporte de panel solar



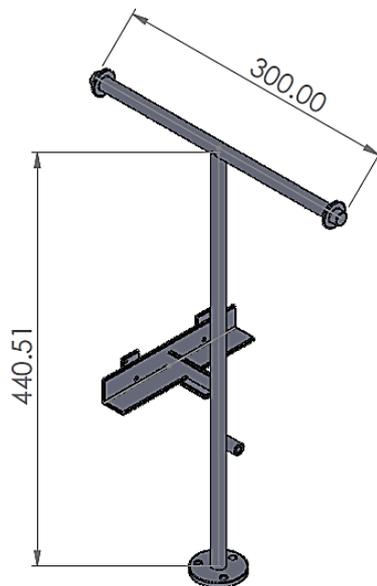
Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.6. Columna superior

Para el sistema superior se diseñó una columna de varilla de barra de acero circular A36 de 0.5 pulgadas de diámetro, por la parte superior se une por soldadura con una varilla horizontal que soportara la canastilla como especie de pasadores y por el otro extremo de la columna se incluyó una unión de brida para unir el giro del motor.

Figura 20

Columna superior



Elaborado por el equipo de trabajo

3.5. MATERIALES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

3.5.1. Sensor de luz LDR

Un LDR (resistor dependiente de la luz), también conocido como fotorresistor o fotorresistencia, es un tipo de resistor que ajusta su valor de resistencia eléctrica en función de la cantidad de luz que incide sobre él. Cuando está expuesto a la luz, su resistencia eléctrica disminuye considerablemente,

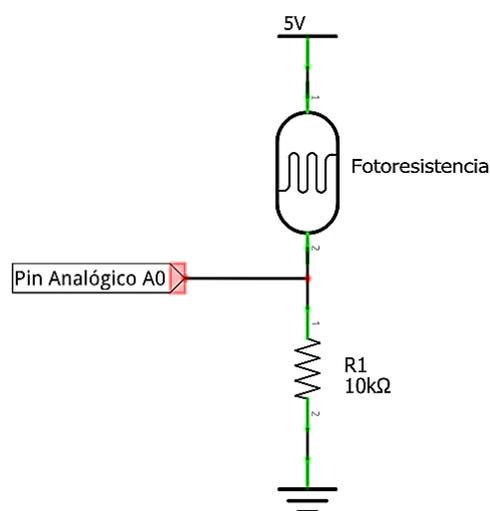
alcanzando valores tan bajos como 50 ohmios en algunos casos. En contraste, en condiciones de oscuridad, la resistencia del LDR aumenta significativamente, llegando a ser de 1 megaohmio o más.

La variación en el valor resistivo de un LDR presenta cierto retardo, con un tiempo de respuesta típico en el orden de una décima de segundo. Este retardo varía según si la transición es de oscuro a iluminado o de iluminado a oscuro. Por esta razón no es tan eficiente su uso en cambios rápidos de luz a oscuridad, para nuestro caso el cambio es lento.

Al utilizar una de estas fotorresistencias y conectarla junto a otra resistencia generalmente de 10K Ohm se formará un divisor de voltaje, se puede generar un voltaje cambiante análogo a la intensidad de luz detectada. El resultado sería un sensor de luz porque el voltaje resultante cambiará al igual que cambie el valor resistivo de esta.

Figura 21

Conexión LDR sensor de luz



Elaborado por el equipo de trabajo

Para nuestro proyecto se utilizará 5 sensores de luz LDR, 4 sensores ubicados en la superficie de la canastilla, separados uno de otro por un mamparo de color oscuro, el mamparo tiene el objetivo de generar un efecto de sombra ocasionado por el movimiento del sol para orientar el módulo, y uno que estará en la parte posterior esta enviará señal al Arduino para posicionar el módulo a su estado inicial una vez acabado el día.

Figura 22

Configuración del mamparo y su ubicación



Elaborado por el equipo de trabajo

Cada fotorresistencia está ubicada en un espacio idéntico de 90 grados. El uso de cuatro LDR da las redundancias que necesita el algoritmo de detección, así como proporciona una mayor exactitud con respecto a la lectura correcta del sol posición. Como están igualmente espaciados, cuando el mamparo está perpendicular a la posición del sol, los cuatro LDR reciben la misma incidencia de luz de modo que la resistencia entre sus terminales es virtualmente idéntica. Como algún sensor está sombreado por el mamparo debido al movimiento natural del sol, la aumentará la resistencia. El microcontrolador a su vez identifica esta

diferencia de valores y activa comandos de actuación para corregir la posición del módulo de modo que los cuatro LDR reciban por igual la misma incidencia de luz.

Figura 23

Sensor LDR 05



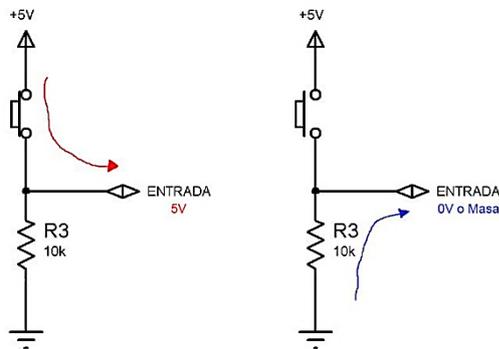
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.2. Sensor fin de carrera

Es necesario el uso de un fin de carrera o interruptor de posición, se instalará en los dos ejes de forma que pueda limitar el movimiento excedente para cada lado desactivando cada motor, además, Las entradas digitales del controlador relacionado con los interruptores de límite se proporcionan con la configuración Pull-Down resistencias para evitar fluctuaciones y garantizar la lectura lógica baja por parte del controlador, es decir esta configuración asegurará un nivel lógico de 0 voltios hasta que sea pulsado el fin de carrera, estas señales son conectadas a las entradas digitales del Arduino Nano.

Figura 24

Configuración Pull Down de resistencia

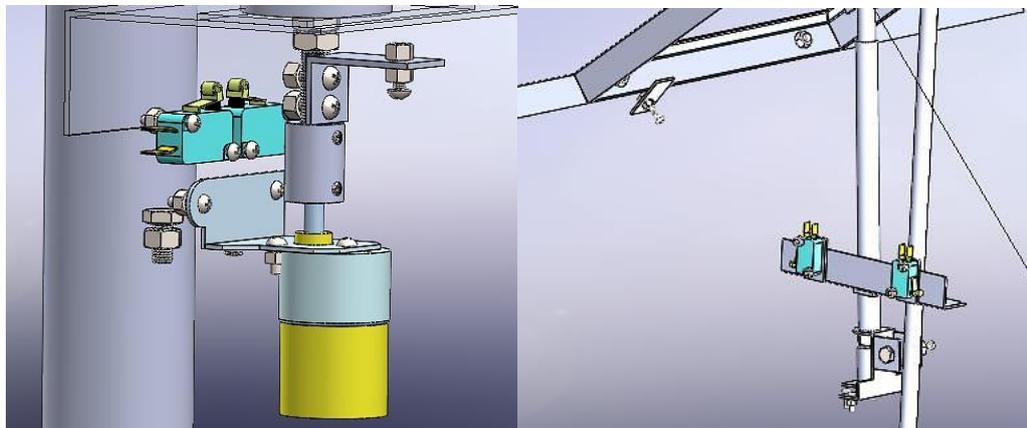


Elaborado por el equipo de trabajo

Se utilizarán en total 04 unidades dos para cada eje, para determinar las posiciones de inicio y fin para cada eje como se muestra en la figura.

Figura 25

Ubicación de fin de carrera de eje azimutal y de elevación



Elaborado por el equipo de trabajo

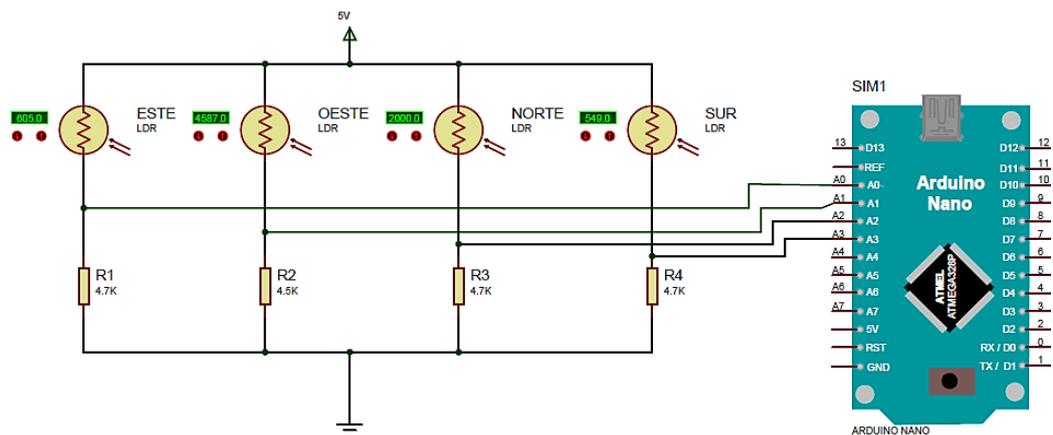
3.5.3. Acondicionador de voltaje

Es necesario construir un acondicionador de voltaje con el fin de convertir las resistencias de los componentes pasivos (LDRs) en niveles de voltaje que pueden ser interpretados por las entradas analógicas del microcontrolador. Cada sensor LDR se coloca en serie con una resistencia de $4.7k\Omega$ de esta manera los

cuatro componentes formen un Punte de Wheatstone, como se muestra en la Figura.

Figura 26

Ubicación de fin de carrera de eje azimutal y de elevación



Elaborado por el equipo de trabajo

Así se forma un divisor de voltaje, las señales de voltaje para las entradas analógicas del controlador se extraen de los nodos entre las resistencias y los LDR. El microcontrolador, a su vez, calcula la diferencia de los voltajes recibidos en los canales analógicos, y si es mayor o inferior a un valor preestablecido, envía comandos al puente H para mover los motores y corregir la posición del módulo. Ya que las fotorresistencias tienen diferentes resistencias incluso a la misma incidencia de la luz. Se realizó las medidas de los LDRs así obtener similares valores de resistencia y colocar en serie una resistencia 4.7kohm para que los cuatro LDR tengan la misma tensión cuando la cara plana del sistema sensor está perpendicular a la radiación incidente.



3.5.4. Regulador lineal de tensión

La función del regulador de tensión es proporcionar un nivel de tensión estable para alimentar otros circuitos a partir de una fuente de entrada de poca calidad, proporcionan desde miliamperios en caso de pequeños reguladores hasta varios amperios en reguladores de mayor capacidad. Los reguladores de tensión lineal controlan la salida de tensión ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada no regulada y la carga (*Reguladores de voltaje, clasificación, reguladores discretos - Electrónica Unicrom, s. f.*).

Utilizaremos el LM7809CT U21 como regulador de voltaje. Los reguladores de tres terminales positivos de la serie LM78XX están disponibles en paquetes TO-220 y tienen una variedad de voltajes de salida fijos, lo que los hace versátiles en una amplia gama de aplicaciones. Cada versión incluye una limitación de corriente interna, un apagado térmico y una protección segura del área de operación, lo que les da una indestructibilidad virtual. Estos reguladores pueden producir más de 1A de corriente de salida si tienen un disipador de calor adecuado. Estos dispositivos se diseñaron principalmente para funcionar como reguladores de voltaje fijo, pero también pueden utilizarse con componentes externos para lograr voltajes y corrientes personalizados.

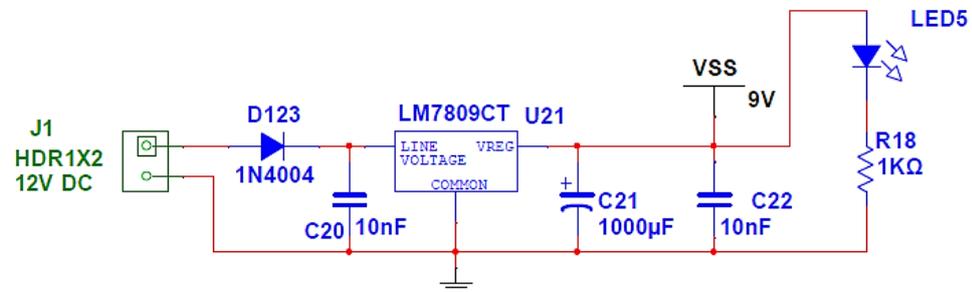
Características:

- Corriente de salida de hasta 1 A.
- Voltajes de salida de 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24.
- Protección contra sobrecarga térmica.
- Protección contra cortocircuitos.

- Protección del área de operación segura del transistor de salida.

Figura 27

Regulador lineal de voltaje



Elaborado por el equipo de trabajo

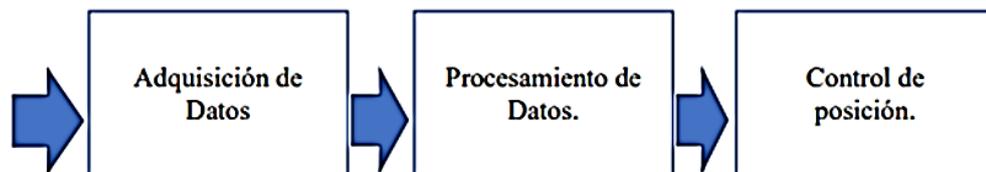
3.5.5. Sistema de control

Para rastrear el sol es necesario identificar la posición del sol. Una manera fácil y de bajo costo es a base de sensores de luz LDR.

El sistema comprende el control automático del funcionamiento del seguidor solar, para la adquisición de datos se utilizará los sensores LDR como entradas analógicas, para el procesamiento de datos se utilizará el Arduino Nano que por su fácil lenguaje de programación y buena respuesta lo hace muy confiable, Para el control de posicionamiento se utilizara los motores DC 12V que impulsaran el módulo en dirección al sol.

Figura 28

Etapas para el control



Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.5.1. Adquisición de datos

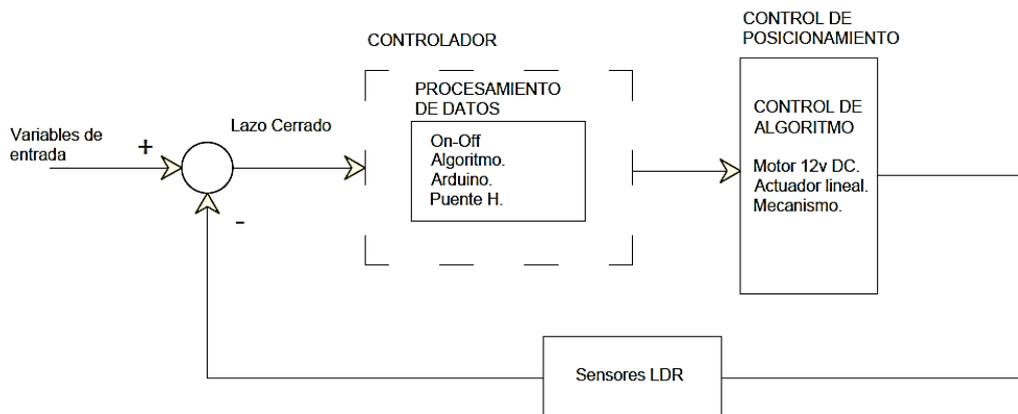
Es la etapa donde se debe adquirir datos del exterior como datos analógicos, las variables de manipulación serán los ángulos de azimut y altura los cuales constantemente irán cambiando para obtener la variable de respuesta que será en el aumento de irradiación.

3.5.5.2. Procesamiento de datos

Se utilizará un algoritmo lazo cerrado pues será retroalimentado por los sensores LDR. El diagrama de flujo se muestra a continuación.

Figura 29

Etapas para el control



Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.5.3. Control de posición

Los sensores de luz deberían de estar reflejados con luz esto hace que el circuito de control no accione los motores, una vez que uno pierda la luz accionara uno de los motores para corregir y volver nuevamente a que los 4 estén con reflejo de luz.



3.5.6. Programación de algoritmo

Para realizar la programación se descargó el IDE (Integrated Development Environment) esta plataforma es de libre uso, nos permite desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino Nano funcione. Se optó por este microcontrolador por ser de bajo costo, de una fácil interfaz además el lenguaje que utiliza esta plataforma es sencillo similar al lenguaje C/C++, sus principales características técnicas son:

- Microcontrolador: ATmega328P.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.
- Voltaje de trabajo: 5V.
- Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
- Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 8 pines analógicos.
- 1 puerto serie por hardware.
- Memoria: 32 KB Flash (2KB para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom.

El algoritmo de control se basa en la lógica de las diferencias. Esto significa que la señal de los motores se activará siempre que el error entre los pares de sensores sea mayor que un valor umbral. En esta lógica, siempre que los dos sensores derechos estén sombreados y con una diferencia mayor que un valor predefinido con respecto a los dos sensores izquierdos, el Arduino procesará la señal y el motor de acimut recibirá una señal de actuación lógica para corregir la posición del módulo. Los motores permanecerán activos hasta que la nueva posición angular del módulo sea suficiente para que las resistencias fotográficas sean más bajas que el margen umbral. Este margen es necesario para crear una



histéresis operativa para evitar que los motores se enciendan constantemente, lo que podría provocar un encendido no deseado de los motores. Lo contrario ocurre cuando el par izquierdo de sensores está sombreado con respecto al par derecho de sensores (Gabe et al., 2017).

Debido a la histéresis de actuación, puede haber una pequeña variación angular de la radiación incidente con la cara plana del módulo fotovoltaico. Sin embargo, esto tiene una influencia mínima en la energía generada, ya que los errores angulares de menos de 3° no tienen una influencia significativa en la producción de energía. Igualmente, que el movimiento de acimut, el movimiento de inclinación (arriba o abajo) sigue la misma lógica, pero ahora tiene en cuenta el error entre los pares de sensores superior e inferior. Esta lógica basada en el error entre los pares de sensores constituye el cuerpo del código, siendo responsable del movimiento esencial del módulo con respecto al seguimiento, es decir, en la búsqueda de la posición normal de la cara del panel fotovoltaico con respecto al sol (Gabe et al., 2017).

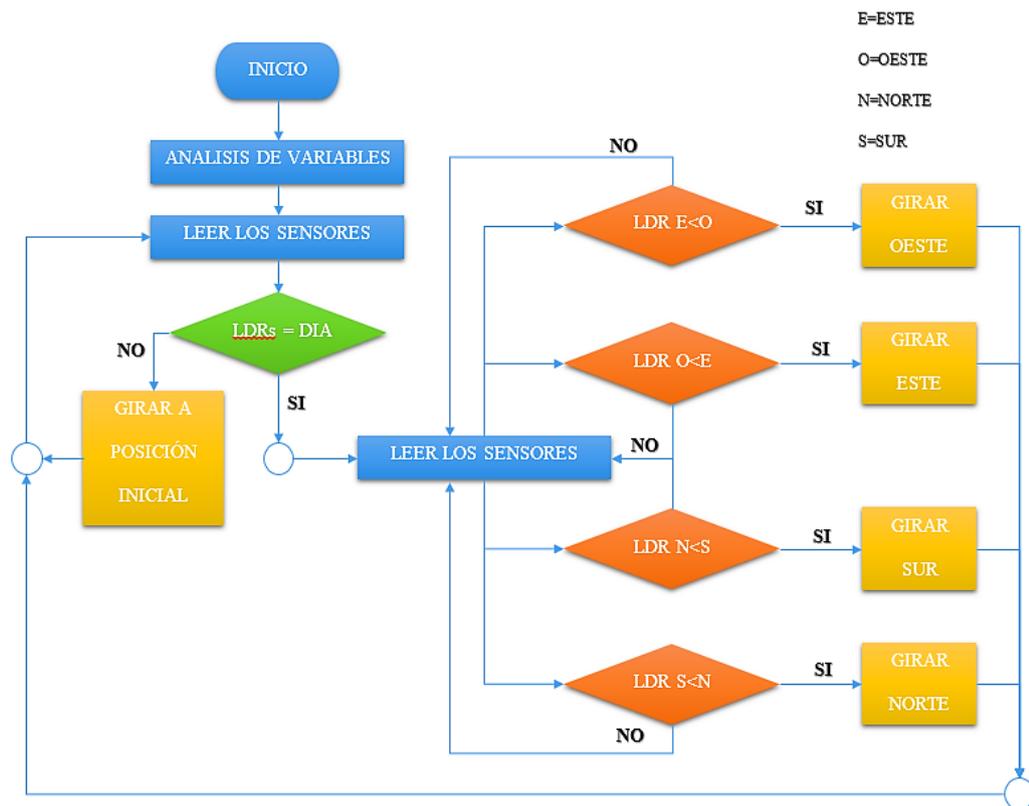
Como el sistema está diseñado para ser autónomo, el software del sistema de control tiene en cuenta todas las variables de entrada. Eso significa que el algoritmo toma decisiones predeterminadas ya que los sensores detectan cualquier cambio en su funcionamiento normal, como períodos nocturnos y días con una incidencia solar extremadamente baja (días nublados).

Al detectar lecturas por debajo de un valor específico (en relación con la radiación incidente correlacionada con los períodos nocturnos), el módulo generalmente tiene un interruptor de límite activo del movimiento azimutal. Esto implica un ángulo de aproximadamente 45 grados entre la cara plana del módulo

con el eje horizontal. El sistema volverá a su posición inicial, se muestra el diagrama de flujo para comprender de una mejor manera el algoritmo utilizado.

Figura 30

Diagrama de flujo



Elaborado por el equipo de trabajo

3.6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FIJO CONVENCIONAL

3.6.1. Estructura de soporte

También, se optó por emplear materiales económicos y de fácil acceso para facilitar la construcción del sistema de manera simple. El diseño incluye una estructura metálica compuesta por una base, columnas y puntos de giro que permiten ajustar la inclinación y orientación del panel solar. También se incorpora una canastilla de soporte para el panel, tal como se puede apreciar en la configuración final.

Figura 31

Diseño del soporte del sistema fijo



Elaborado por el equipo de trabajo

3.7. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TOMA DE DATOS AUTOMÁTICO

3.7.1. Sistema general

Para la obtención de la irradiancia captada por ambos sistemas se implementó un circuito medidor de corriente tomando como base la tarjeta Arduino UNO en su tercera Revisión a la cual se le implemento un módulo reloj en tiempo real DS1307 RTC para establecer los intervalos de toma de datos, dos sensores de corriente ACS712 implementado con un chip ACS712T-ELC-05B dos relés de 1 canal a 5v y un datalogger LVC125A para el almacenamiento de datos.

3.7.2. Placa de control general

Se implemento una placa Arduino Uno que es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P. Tiene 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio (*Arduino Uno rev3 — arduino official store, s. f.*).

Figura 32

Placa Arduino UNO R3



Nota: Extraído de: (*Arduino Uno rev3 — arduino official store, s. f.*)

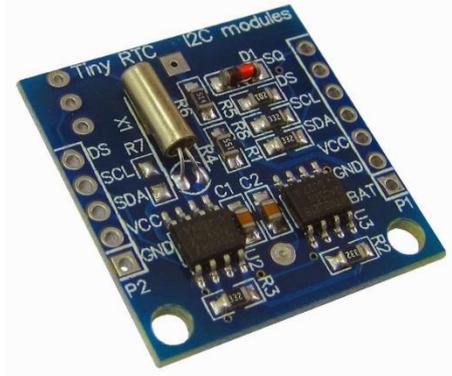
3.7.3. Módulo reloj en tiempo real

Se implemento el reloj en tiempo real (RTC) DS1307 es un dispositivo de 8 pines que utiliza una interfaz I2C. El DS1307 es un reloj-calendario con consumo bajo con 56 bytes de SRAM de respaldo de batería. El reloj-calendario proporciona datos calificados de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha de finalización de cada mes se ajusta independientemente, especialmente

para los meses con menos de 31 días (*RTC ds1307 timer component precision / electrical world: rtc ds1307 timer component precision, s. f.*).

Figura 33

RTC Ds1307 Timer component precision



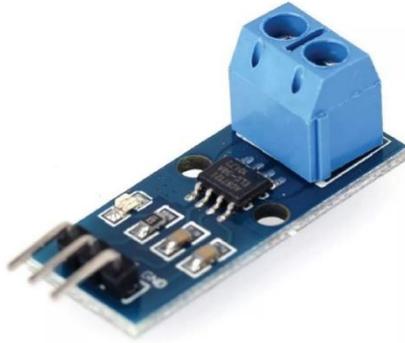
Nota: Extraído de: (*RTC ds1307 timer component precision / electrical world: rtc ds1307 timer component precision, s. f.*)

3.7.4. Sistema de medición de corriente

Se implementaron 2 sensores de corriente ACS712 efectuado con un chip ACS712T-ELC-05B. Es un dispositivo medidor de corriente que tiene la capacidad de obtener valores tanto de corriente alterna (CA) como de corriente continua (CC). Su circuito incorpora un sensor Hall altamente preciso con un desfase mínimo. El sensor Hall detecta el campo magnético generado cuando fluye corriente a través del canal de cobre ubicado en la parte superior del módulo. A su vez, el sensor Hall convierte esta energía magnética en voltaje, permitiendo la medición precisa de la corriente (*Sensor de corriente ACS712 con arduino arduino, s. f.*).

Figura 34

Sensor de corriente ACS712



Nota: Extraído de:(*Sensor de corriente ACS712 con arduino arduino*, s. f.)

3.7.5. Componentes actuadores

Módulo de relé de un solo canal es una placa conveniente que se puede utilizar para controlar alta tensión, alta carga de corriente, como motor, válvulas solenoides, lámparas y carga de CA. Está diseñado para interactuar con microcontroladores como Arduino, PIC, etc. El terminal de relés (COM, NO y NC) se está sacando con terminal de tornillo. También viene con un LED para indicar el estado del relé (*Single channel 5V relay module*, s. f.).

Figura 35

Módulo De Relé De 5v De Un Solo Canal



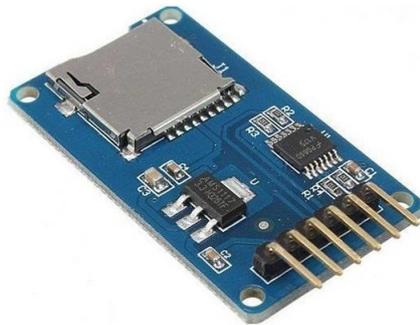
Nota: Extraído de:(*Single channel 5V relay module*, s. f.)

3.7.6. Componentes de almacenamiento de datos

El módulo de tarjeta SD es particularmente útil para proyectos que necesitan registro de datos. El Arduino puede crear e ingresar una tarjeta SD para escribir y guardar datos usando la biblioteca SD. Hay diferentes modelos de diferentes proveedores, pero todos ellos agregan una forma idéntica, utilizando el protocolo de comunicación SPI (*SD Card module – Earth Bondhon, s. f.*).

Figura 36

Módulo de tarjeta SD



Nota: Extraído de:(*SD Card module – Earth Bondhon, s. f.*)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. AJUSTE DE LOS PARÁMETROS PARA EL MÓDULO ESTÁTICO CONVENCIONAL

En busca de hacer una contrastación adecuada de las variables de irradiancia y irradiación de ambos sistemas es que se busca primeramente lograr la orientación e inclinación óptima del sistema fotovoltaico fijo o estático convencional.

4.1.1. Orientación del módulo estático convencional

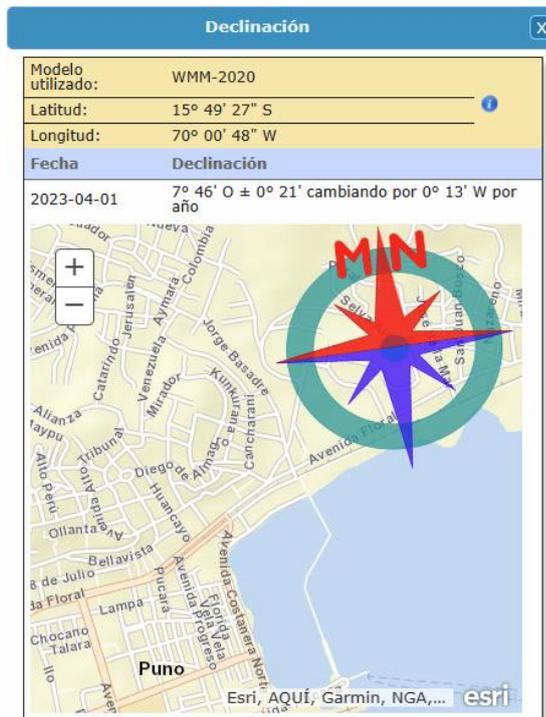
Gasquet (2004) Especifica que:

En el caso de sistemas ubicados al sur del Ecuador, es necesario que estén orientados hacia el norte. Sin embargo, la precisión exacta de los puntos cardinales no es crucial, ya que la variación en la exposición al sol debido a la orientación no es abrupta. Para lograr este objetivo, se utilizó una brújula que permitió determinar el sur magnético. Para obtener la orientación hacia el sur geográfico, se corrigió la posición considerando el valor de la declinación del lugar, que representa la diferencia en grados entre el norte magnético y el norte geográfico en este contexto (p. 120).

Para la obtención de la declinación magnética se obtuvo información del sitio web oficial de gobierno de los estados unidos “National Centers for Environmental Information” para las coordenadas $15^{\circ}49'27''S$ $70^{\circ}00'48''W$ ANEXO 2: correspondientes al lugar de experimentación correspondiente al laboratorio de la EPIME.

Figura 37

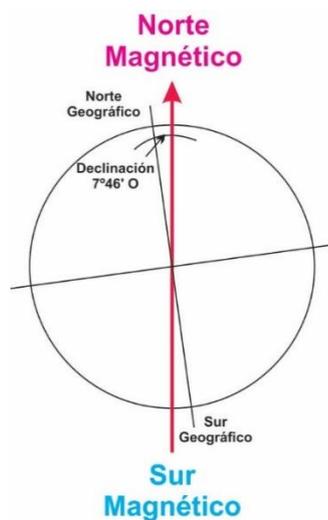
Declinación magnética



Nota: Obtenido de: (NCEI geomagnetic calculators, s. f.)

Figura 38

Norte magnético y norte geográfico



Elaborado por el equipo de trabajo

Por lo tanto, en el módulo estático la orientación del módulo será hacia el norte magnético con una declinación de 7°46' O, que será el norte geográfico.



4.1.2. Inclinación del módulo estático convencional

La ideal orientación será un valor constante, con un ángulo de inclinación (β) que variará según la latitud (φ) del lugar, y un acimut (α) que dependerá del hemisferio en el que se encuentre el generador.

Se emplea una fórmula que se basa en análisis estadísticos de la radiación solar anual en superficies para calcular la inclinación ideal de una superficie fija.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69x|\varphi|) \quad (6)$$

β_{opt} : Ángulo de Inclinación optimo.

$|\varphi|$: Valor absoluto de la latitud del lugar.

Este cálculo es aplicable en situaciones de uso anual, con el objetivo de lograr la máxima captación de energía solar a lo largo del año (*¿Qué inclinación debe tener un panel solar?, s. f.*).

Así, al considerar el enfoque de inclinación ideal anual, se introducen los datos en la ecuación, teniendo en cuenta que la latitud es de $15^{\circ}49'27''$.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69x|15^{\circ}49'27''|)$$

$$\beta_{opt} = 14^{\circ}37'7.23''$$

$$\beta_{opt} = 14.62^{\circ}$$

Así, el módulo estático convencional tendrá una inclinación de $14,62^{\circ}$.



4.2. ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA CAPTADA POR AMBOS MÓDULOS

4.2.1. Análisis diario mensual

La irradiancia en si es una variable que depende de varios factores, como la latitud, la altitud, la estación del año, el momento del día y las condiciones climáticas. En general, Perú tiene un alto potencial de energía solar debido a su ubicación geográfica cerca del ecuador, lo que significa que recibe una cantidad considerable de irradiación solar durante todo el año. Muestra de ello en las curvas de irradiación obtenidas del análisis experimental mostradas en las Figura 39 hasta la Figura 42 donde se aprecia la captación considerable de irradiación.

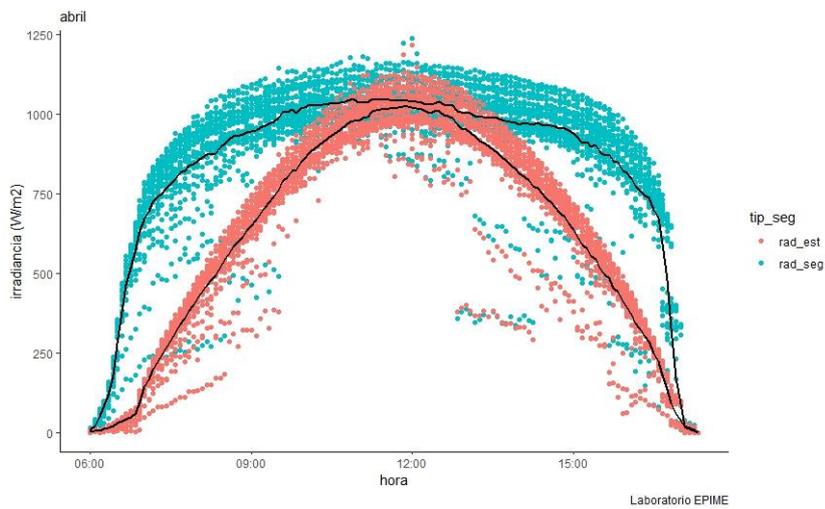
Cabe destacar que, durante el período experimental, predominaron los días soleados en su mayoría, lo cual fue inusual, ya que Puno, ubicada en el altiplano peruano, experimenta condiciones climáticas diversas a lo largo del año. En este contexto, se observó que el seguidor solar siempre captó una irradiación mayor en comparación con el módulo estático convencional, logrando su mayor potencial en el mes de mayo donde se logró una irradiación promedio mensual de 10.343 KWh/m²/d respecto a los 7.516 KWh/m²/d del módulo estático convencional.

Es relevante señalar que hubo escasos días nublados y lluviosos durante el período de estudio, lo que limitó la capacidad para evaluar el rendimiento de los sistemas en estas condiciones específicas. Estos factores destacan la consistencia de la irradiación captada por el seguidor solar en condiciones mayormente soleadas y subrayan la falta de datos para evaluar su rendimiento en situaciones de baja irradiación.

Además, se aprecia que la irradiancia máxima en el módulo estático convencional se alcanza alrededor del mediodía solar, que es cuando el ángulo de incidencia de la radiación es menor.

Figura 39

Curva de irradiancia abril-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 2

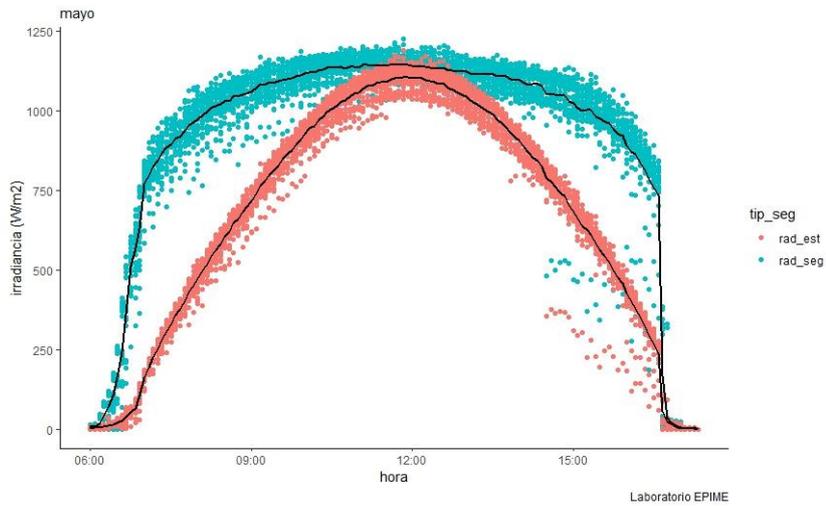
Irradiación promedio de los dos sistemas abril-2023

	Seguidor Solar	Modulo Estático
Irradiación	9.508 KWh/m ² /d	Irradiación 6.931 KWh/m ² /d

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 40

Curva de irradiación mayo-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3

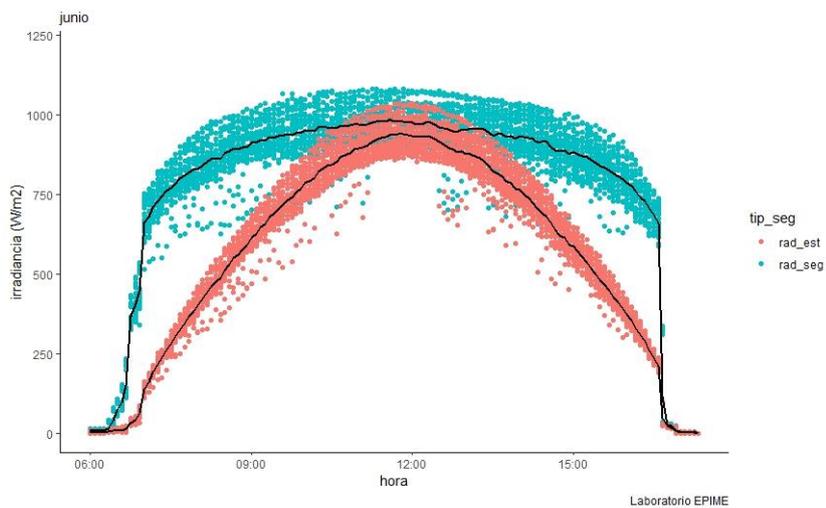
Irradiación promedio de los dos sistemas mayo-2023

	Seguidor Solar	Modulo Estático
Irradiación	10.343 KWh/m2/d	Irradiación 7.516 KWh/m2/d

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 41

Curva de irradiación junio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4

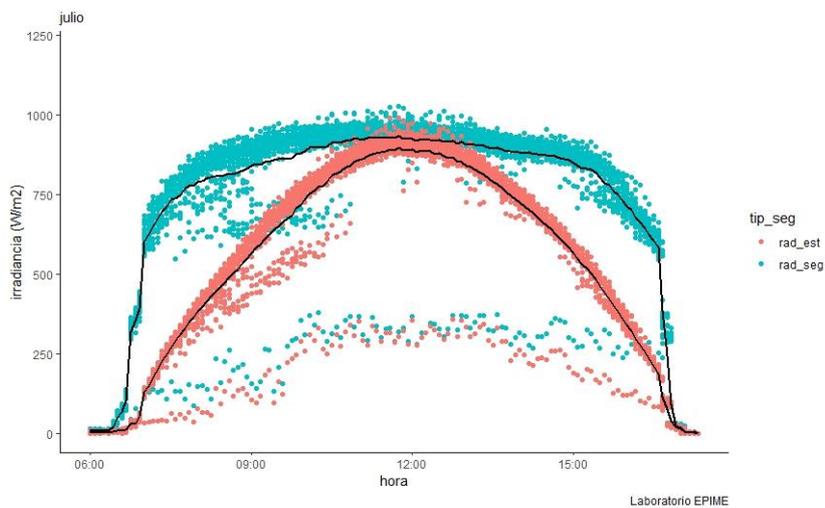
Irradiación promedio de los dos sistemas junio-2023

	Seguidor Solar	Modulo Estático
Irradiación	8.786 KWh/m2/d	Irradiación 6.361 KWh/m2/d

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 42

Curva de irradiación julio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 5

Irradiación promedio de los dos sistemas julio-2023

	Seguidor Solar	Modulo Estático
Irradiación	8.303 KWh/m2/d	Irradiación 6.040 KWh/m2/d

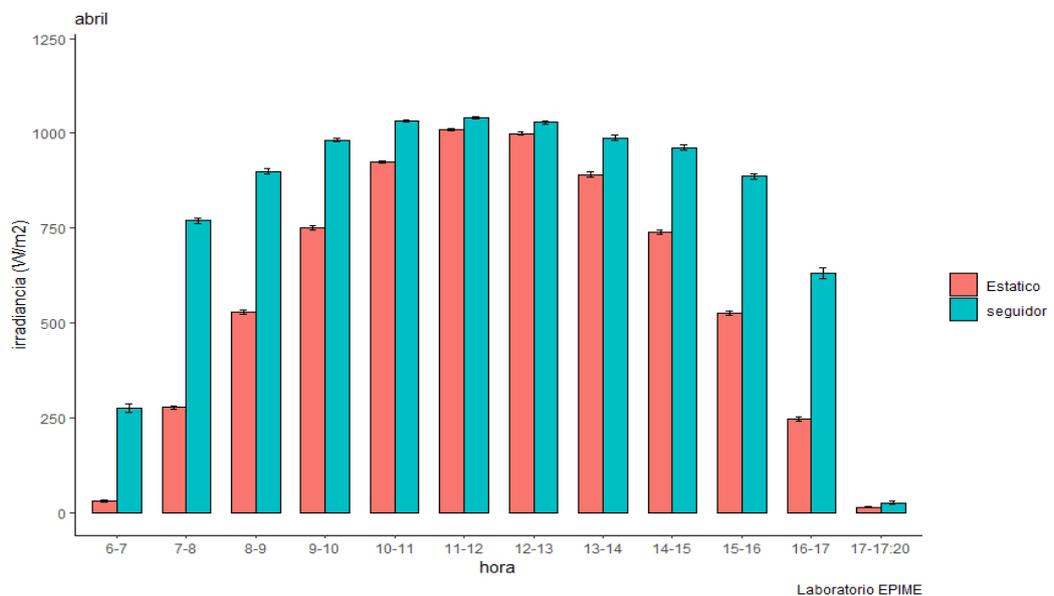
Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.2. Análisis horario mensual

A través de los gráficos presentados desde la Figura 43 a la Figura 46, se puede observar claramente que existen diferencias significativas en las mediciones en todos los horarios analizados. Es especialmente notable la marcada disparidad en la captación de irradiación durante las horas de la mañana, de 7 a 10 a. m., y por la tarde, de 2 a 5 p. m. Esta diferencia es apreciable gracias a las barras de error estándar que se muestran en los gráficos, evidenciando una variación significativa en la cantidad de radiación captada en estos períodos del día en comparación con otros horarios. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar estas variaciones horarias al analizar el rendimiento del sistema de energía solar.

Figura 43

Irradiancia captada horario-mensual abril-2023



Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 6

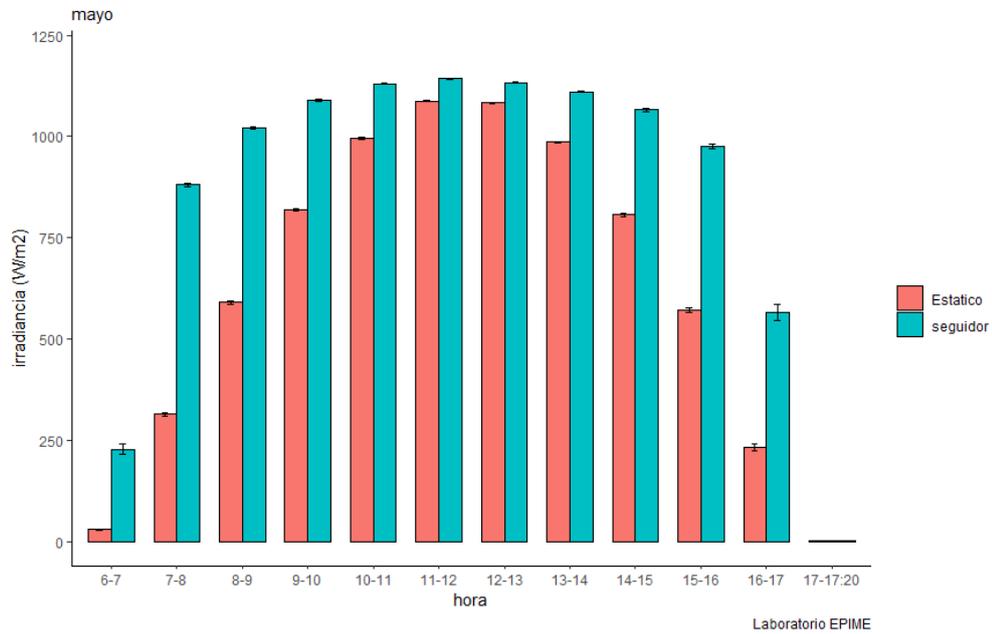
Resultados estadísticos horario-mensual abril-2023

Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	2.40	67.80	217.20	274.90	493.20	728.80	228.03
7-8	229.60	722.40	798.00	770.00	861.80	990.40	142.76
8-9	260.80	879.00	933.20	900.00	977.60	1086.40	139.92
9-10	424.00	954.40	994.00	982.60	1035.20	1144.80	98.96
10-11	821.60	992.60	1027.60	1032.70	1073.60	1178.40	54.10
11-12	804.00	999.00	1043.00	1042.00	1088.00	1222.00	59.79
12-13	358.40	991.80	1038.40	1028.30	1080.00	1237.60	85.83
13-14	337.60	971.20	1014.40	987.40	1059.20	1136.80	143.05
14-15	346.40	944.00	980.80	962.50	1021.00	1108.80	121.95
15-16	248.00	861.80	917.20	886.20	965.00	1067.20	141.64
16-17	23.92	398.94	729.60	630.92	806.60	958.40	252.13
17-17:20	0.00	0.40	6.80	25.78	24.86	340.21	63.87
Hora	Modulo Estático						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.00	7.20	21.60	30.15	44.80	131.20	28.29
7-8	48.80	199.60	277.60	277.10	357.00	462.40	95.45
8-9	131.20	475.80	536.40	529.40	605.00	728.80	104.79
9-10	304.00	706.80	765.20	751.20	810.40	934.40	94.19
10-11	729.60	886.40	920.00	925.40	963.40	1094.40	57.66
11-12	804.00	971.20	1007.20	1008.60	1050.40	1184.80	55.54
12-13	379.20	968.00	1007.60	998.50	1045.00	1215.20	80.17
13-14	326.40	870.40	914.40	891.50	957.80	1068.00	127.32
14-15	292.00	700.80	753.20	740.20	801.80	915.20	103.92
15-16	58.40	468.80	539.60	526.90	604.20	716.80	107.94
16-17	17.07	132.00	261.20	246.28	347.20	463.20	119.35
17-17:20	0.00	0.00	6.80	14.48	19.97	100.00	20.39

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 44

Irradiancia captada horario-mensual mayo-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 7

Resultados estadísticos horario-mensual mayo-2023

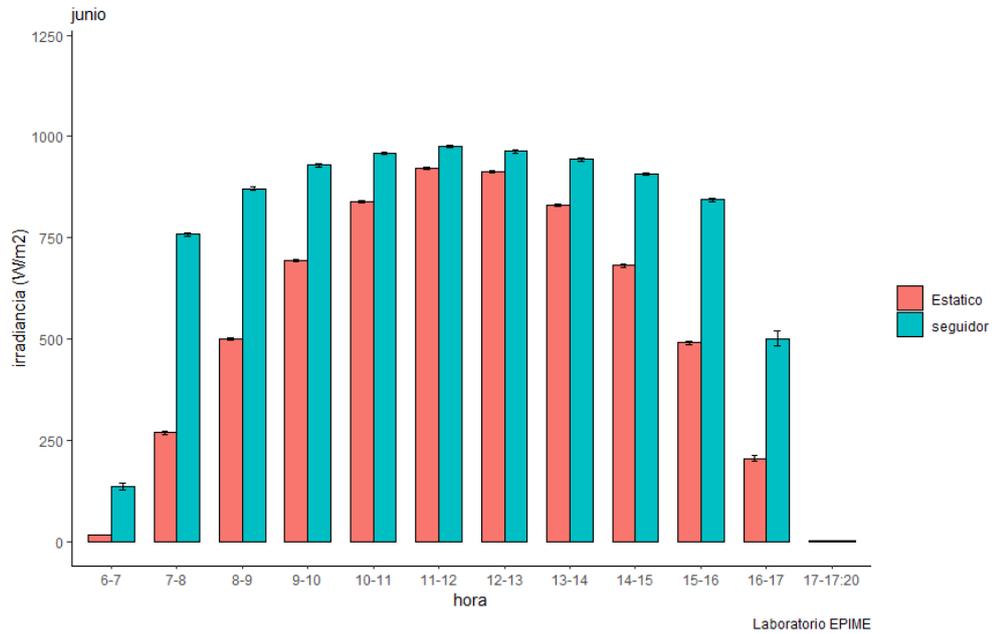
Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.00	14.40	112.80	227.60	436.00	762.40	231.56
7-8	583.20	824.00	892.00	880.80	937.60	1072.00	78.95
8-9	764.00	990.80	1030.00	1020.70	1062.40	1123.20	59.47
9-10	904.00	1064.00	1097.00	1090.00	1123.00	1186.00	48.19
10-11	964.00	1112.00	1138.00	1130.00	1158.00	1195.00	37.95
11-12	1030.00	1122.00	1150.00	1143.00	1169.00	1224.00	35.63
12-13	1046.00	1105.00	1138.00	1133.00	1158.00	1203.00	33.18
13-14	931.20	1085.60	1119.20	1110.60	1137.80	1174.40	35.26
14-15	482.40	1041.40	1082.80	1065.90	1106.40	1150.40	81.56
15-16	343.20	952.80	992.40	976.00	1032.00	1129.60	113.56
16-17	0.00	28.15	795.20	566.14	874.20	1022.40	381.58
17-17:20	0.00	0.00	2.14	2.66	4.80	24.00	3.11

Hora	Modulo Estático						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.00	7.00	16.00	29.72	47.20	142.40	31.60
7-8	118.40	238.20	318.80	313.90	392.00	510.40	91.71
8-9	388.80	527.80	591.60	590.40	649.20	753.60	78.15
9-10	615.20	766.20	822.80	819.00	870.60	964.00	68.90
10-11	794.40	960.80	996.80	995.90	1037.00	1104.80	52.67
11-12	946.40	1060.60	1093.60	1087.90	1116.00	1188.00	39.54
12-13	988.80	1055.80	1085.60	1082.50	1112.80	1172.00	37.94
13-14	780.00	948.80	989.60	985.60	1024.00	1094.40	51.08
14-15	352.00	762.80	813.60	806.40	863.20	955.20	85.76
15-16	184.80	515.20	581.60	571.70	643.20	749.60	96.84
16-17	0.00	26.83	278.40	231.80	369.20	499.20	160.74
17-17:20	0.00	0.00	1.60	2.47	4.80	18.40	2.75

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 45

Irradiancia captada horario-mensual junio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 8

Resultados estadísticos horario-mensual junio-2023

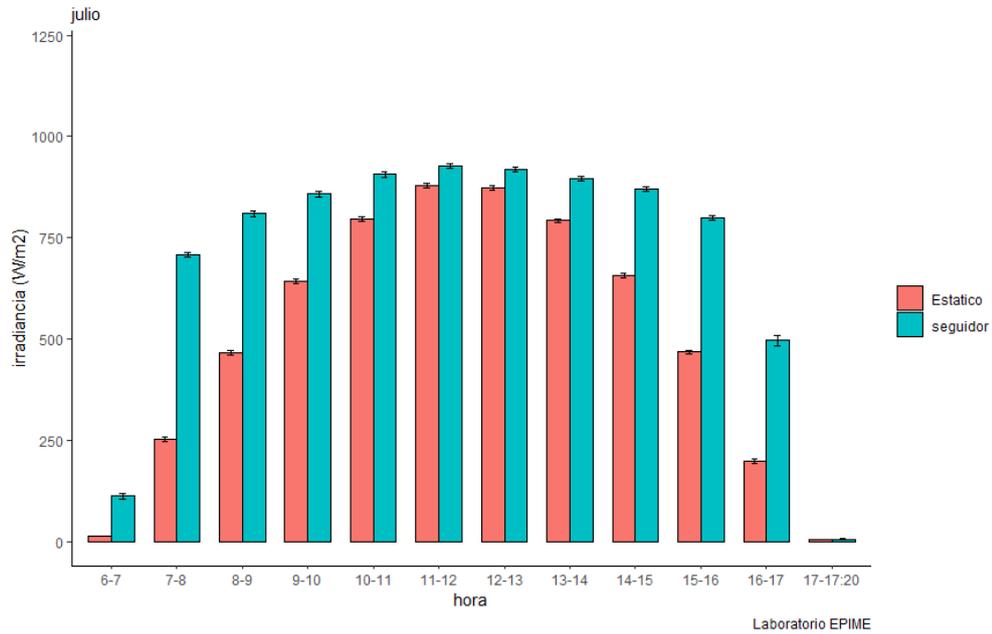
Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	4.00	9.60	60.80	135.80	255.40	534.40	164.47
7-8	515.20	713.60	762.40	757.70	801.60	930.40	73.87
8-9	625.60	834.40	873.60	870.80	920.00	1016.80	71.32
9-10	681.60	891.80	929.20	928.90	970.60	1064.00	63.40
10-11	709.60	920.60	955.20	958.70	994.40	1073.60	56.86
11-12	722.40	932.80	975.20	975.40	1011.60	1081.60	51.74
12-13	702.40	927.20	962.40	962.80	1002.80	1076.00	59.61
13-14	680.00	907.20	943.20	943.00	988.20	1060.00	61.86
14-15	654.40	869.60	906.40	907.20	949.60	1036.00	63.13
15-16	628.80	802.40	843.20	843.20	885.80	994.40	61.14
16-17	0.00	28.27	682.40	501.24	752.00	884.00	331.28
17-17:20	0.00	0.00	1.60	2.40	4.80	6.46	2.34

Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.00	4.00	7.20	16.30	24.00	87.20	19.01
7-8	111.20	201.60	269.60	268.20	334.40	438.40	79.50
8-9	316.00	448.00	502.00	500.30	560.20	662.40	72.17
9-10	469.60	645.60	695.20	693.30	737.80	860.00	67.82
10-11	602.40	801.60	836.40	839.10	877.60	992.80	59.94
11-12	677.60	882.20	920.80	922.70	958.40	1034.40	51.59
12-13	652.00	877.60	912.80	912.80	948.80	1035.20	59.27
13-14	589.60	790.80	834.00	830.60	873.60	980.00	64.70
14-15	449.60	630.20	685.60	681.30	732.20	838.40	70.79
15-16	301.60	436.60	492.80	490.30	542.60	646.40	69.10
16-17	0.00	25.86	247.20	204.86	319.60	421.60	137.04
17-17:20	0.00	0.00	1.60	2.56	4.80	6.40	2.48

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 46

Irradiancia captada horario-mensual julio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 9

Resultados estadísticos horario-mensual julio-2023

Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.80	8.00	30.00	112.00	129.20	446.40	147.15
7-8	88.00	662.00	734.00	708.00	787.20	868.80	128.20
8-9	106.40	800.80	849.60	809.20	876.00	929.60	135.00
9-10	131.20	880.00	905.60	857.60	924.00	976.00	142.04
10-11	288.80	919.00	935.20	905.90	949.00	1005.60	119.55
11-12	287.20	932.80	944.00	926.10	957.60	1026.40	113.03
12-13	279.20	922.40	936.80	918.20	950.40	1012.00	109.38
13-14	280.80	901.60	916.00	895.90	928.80	988.00	105.38
14-15	267.20	874.20	892.00	871.20	904.80	952.80	104.01
15-16	236.00	768.40	831.60	800.10	857.80	916.80	109.16
16-17	15.14	308.34	620.00	496.01	681.60	808.00	251.90
17-17:20	0.00	0.00	3.20	5.95	6.40	28.24	7.93

Hora	Seguidor Solar						
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd
6-7	0.00	2.40	6.40	13.23	17.80	64.80	15.74
7-8	32.00	186.40	261.20	252.40	326.00	405.60	86.34
8-9	55.20	420.00	472.00	465.90	529.20	615.20	93.40
9-10	96.00	608.60	665.20	642.60	714.60	787.20	115.32
10-11	249.60	788.00	819.60	796.20	850.40	927.20	110.53
11-12	275.20	880.60	898.40	880.00	912.80	991.20	107.87
12-13	276.00	873.60	891.60	873.90	908.80	972.00	104.47
13-14	228.80	776.60	809.20	792.40	839.20	910.40	99.26
14-15	207.20	627.00	669.60	657.00	708.40	766.40	90.36
15-16	118.40	410.40	479.20	467.30	534.60	603.20	88.25
16-17	11.70	93.56	222.40	197.23	291.20	382.40	110.52
17-17:20	0.00	0.00	3.20	5.17	6.40	22.06	5.94

Elaborado por el equipo de trabajo



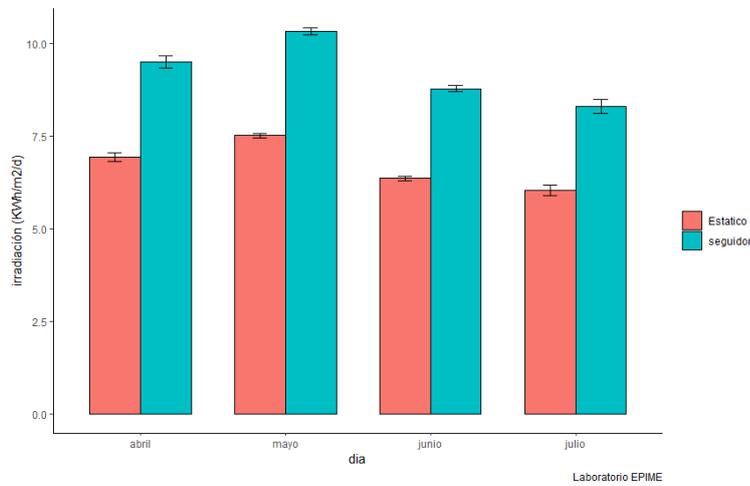
4.3. ANÁLISIS DE LA IRRADIACIÓN CAPTADA POR AMBOS MÓDULOS

4.3.1. Análisis mensual

La Figura 47 representa a la irradiación en los meses de abril, mayo, junio y julio, en cual ofrece una visión detallada de los niveles de irradiación durante nuestro período de estudio. Es relevante destacar que mayo registró la irradiación promedio más alta, alcanzando 10.343 KW/m²/d para el seguidor solar y 7.516 KW/m²/d para el módulo estático, esta diferencia indica que el seguidor solar fue aproximadamente un 37% más eficiente en la captación de irradiación en comparación con el módulo estático durante este mes. Contrariamente, julio exhibió la menor irradiación promedio, con 8.303 KW/m²/d para el seguidor y 6.04 KW/m²/d para el módulo estático. En este caso, el seguidor solar fue aproximadamente un 37.5% más eficiente que el módulo estático. Estas cifras evidencian una clara disparidad en el aprovechamiento energético entre ambos sistemas, subrayada por las barras de error estándar presentes en las gráficas. Estos datos no solo ilustran las fluctuaciones estacionales en la irradiación solar, sino que también resaltan la importancia de considerar estas variaciones al evaluar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas solares en nuestra región de estudio.

Figura 47

Irradiación promedio mensual y error estándar



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 10

Resultados estadísticos análisis mensual

Seguidor solar							
	Min.	1st_Qu.	Median	Mean	3rd_Qu.	Max.	sd.
Abril	6.11	9.397	9.645	9.508	10.038	10.624	0.939
Mayo	8.234	10.079	10.474	10.343	10.648	11.004	0.502
Junio	8.125	8.37	8.638	8.786	9.118	9.753	0.486
Julio	2.737	8.381	8.51	8.303	8.631	8.789	1.049

Modulo estático							
	Min.	1st_Qu.	Median	Mean	3rd_Qu.	Max.	sd.
Abril	4.934	6.796	7.009	6.931	7.302	7.736	0.605
Mayo	6.251	7.335	7.622	7.516	7.724	7.949	0.321
Junio	5.906	6.062	6.27	6.361	6.588	7.058	0.347
Julio	2.061	6.081	6.178	6.04	6.285	6.397	0.751

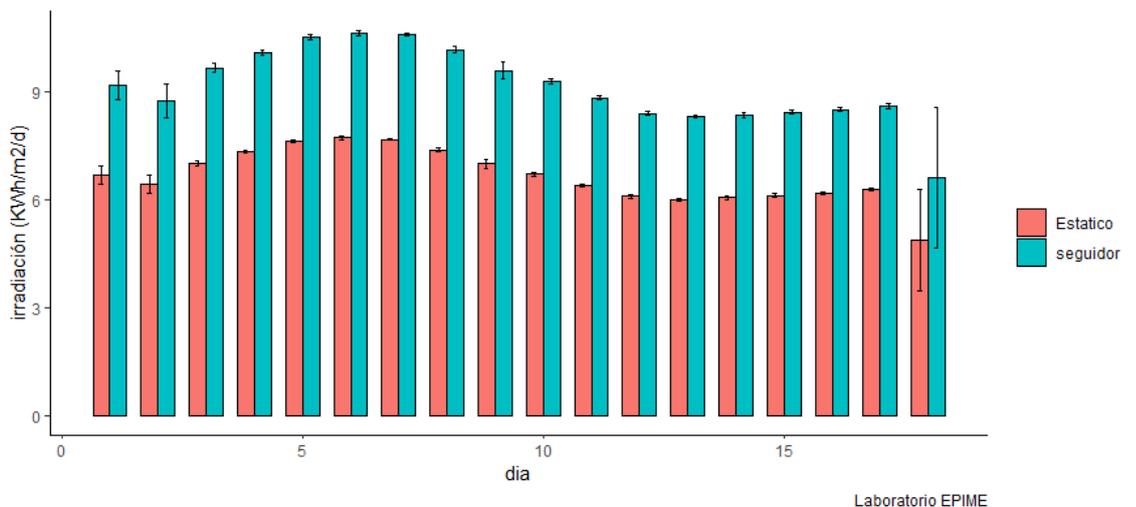
Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.2. Análisis semanal

A través de la Figura 48, se pueden observar claramente las variaciones en los niveles de irradiación a lo largo del período de estudio. Se destaca una fluctuación evidente en los niveles de irradiación, con picos más altos alrededor de la semana 6 del estudio y mínimos alrededor de la semana 13. Estos patrones resaltan la naturaleza dinámica de la radiación solar en la región durante las semanas analizadas. Además, se observó un comportamiento anómalo en la semana 18, que se desvió del patrón general del estudio debido a un día lluvioso intenso. Este evento inusual tuvo un impacto notable en los niveles de irradiación durante esa semana específica, lo que subraya la sensibilidad del sistema a las condiciones climáticas extremas y resalta la necesidad de considerar factores impredecibles al evaluar el rendimiento de los sistemas solares en la región estudiada.

Figura 48

Irradiación promedio semanal y error estándar



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 11*Resultados estadísticos análisis semanal*

Seguidor solar (KWh/m ² /d)							
Sem	Min.	1st_Qu.	Median	Mean	3rd_Qu.	Max.	sd
1	6.914	9.34	9.48	9.2	9.7	9.922	1.036
2	6.11	8.813	9.329	8.771	9.422	9.487	1.239
3	9.146	9.516	9.739	9.68	9.855	10.13	0.319
4	9.803	10.017	10.093	10.095	10.229	10.274	0.170
5	10.29	10.44	10.57	10.54	10.65	10.74	0.158
6	10.41	10.53	10.67	10.66	10.72	11	0.192
7	10.47	10.56	10.61	10.61	10.65	10.75	0.091
8	9.87	10.06	10.09	10.18	10.37	10.46	0.218
9	8.234	9.74	9.792	9.61	9.872	10.016	0.614
10	8.947	9.203	9.277	9.299	9.438	9.586	0.212
11	8.636	8.713	8.897	8.843	8.969	9.003	0.157
12	8.125	8.354	8.453	8.409	8.495	8.59	0.156
13	8.17	8.251	8.327	8.318	8.347	8.534	0.117
14	8.037	8.22	8.421	8.353	8.475	8.624	0.215
15	8.196	8.348	8.459	8.442	8.525	8.688	0.162
16	8.38	8.41	8.447	8.513	8.646	8.655	0.130
17	8.276	8.593	8.631	8.62	8.727	8.789	0.171
18	2.737	5.632	8.528	6.629	8.575	8.622	3.371

Modulo estático (KWh/m ² /d)							
Sem	Min.	1st_Qu.	Median	Mean	3rd_Qu.	Max.	sd
1	5.137	6.782	6.877	6.696	7.045	7.2	0.709
2	4.934	6.473	6.784	6.446	6.806	6.847	0.700
3	6.719	6.901	7.07	7.032	7.15	7.336	0.209
4	7.209	7.278	7.351	7.343	7.417	7.449	0.096
5	7.456	7.576	7.662	7.645	7.729	7.789	0.116
6	7.557	7.68	7.745	7.735	7.768	7.949	0.123
7	7.606	7.659	7.698	7.69	7.72	7.769	0.057
8	7.175	7.313	7.353	7.401	7.517	7.622	0.156
9	6.251	7.051	7.147	7.012	7.171	7.243	0.343
10	6.482	6.655	6.708	6.72	6.81	6.919	0.144
11	6.248	6.326	6.451	6.411	6.505	6.512	0.110
12	5.906	6.057	6.133	6.1	6.16	6.224	0.112
13	5.912	5.974	6.007	6.016	6.03	6.183	0.085
14	5.856	5.971	6.095	6.064	6.156	6.243	0.148
15	5.967	6.061	6.12	6.129	6.196	6.299	0.112
16	6.045	6.094	6.148	6.18	6.287	6.308	0.112
17	6.091	6.251	6.29	6.285	6.357	6.397	0.105
18	2.061	4.155	6.249	4.88	6.289	6.328	2.441

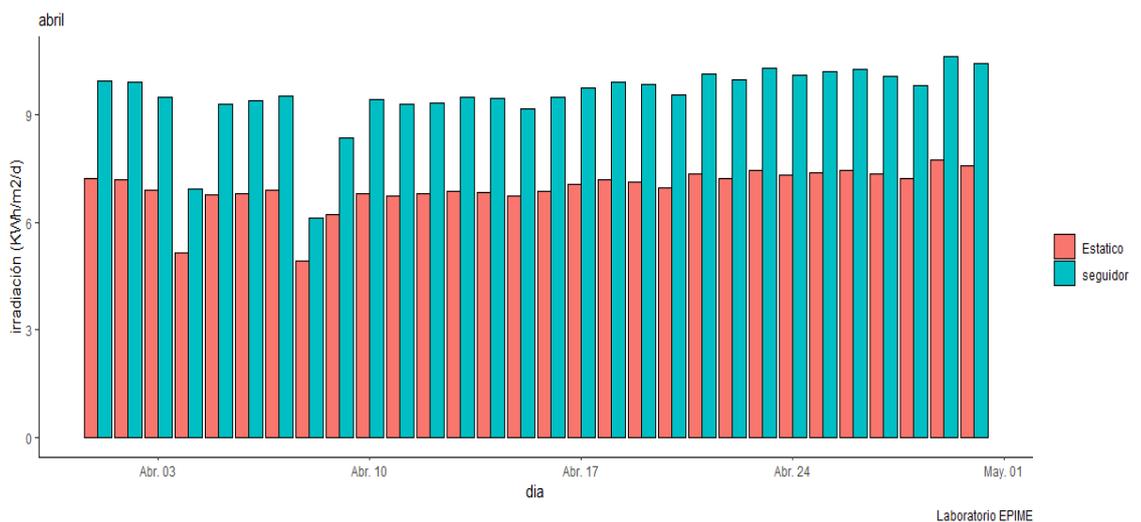
Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.3. Análisis diario mensual

A través de los gráficos proporcionados Figura 49 hasta la Figura 52, se presenta de forma visual la irradiación diaria durante todo el período experimental. Estos gráficos esquematizan claramente los niveles de irradiación, permitiendo identificar de manera evidente los días con baja irradiación, los cuales están asociados a condiciones de precipitación de lluvia. Resulta notable el patrón casi uniforme de comportamiento, dado que la mayoría de los días fueron soleados. Sin embargo, se destaca un evento excepcional: un día completo de lluvia ocurrido el 29 de julio, como se muestra en la Figura 52. Este día lluvioso representa una anomalía en el patrón general de irradiación, resaltando la influencia significativa del clima en el rendimiento diario de los sistemas solares durante el período de estudio.

Figura 49

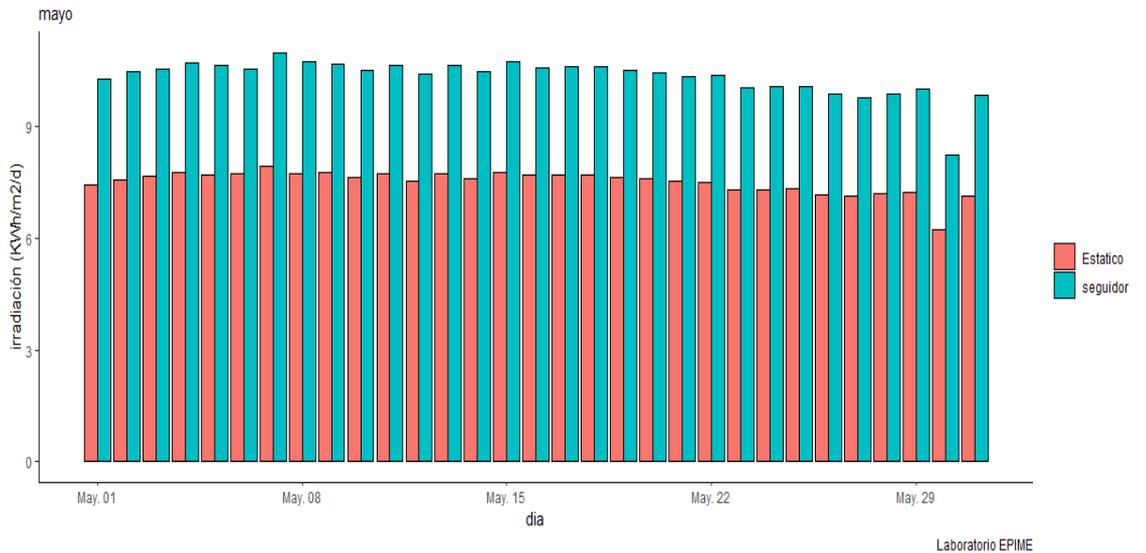
Irradiación diaria abril-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 50

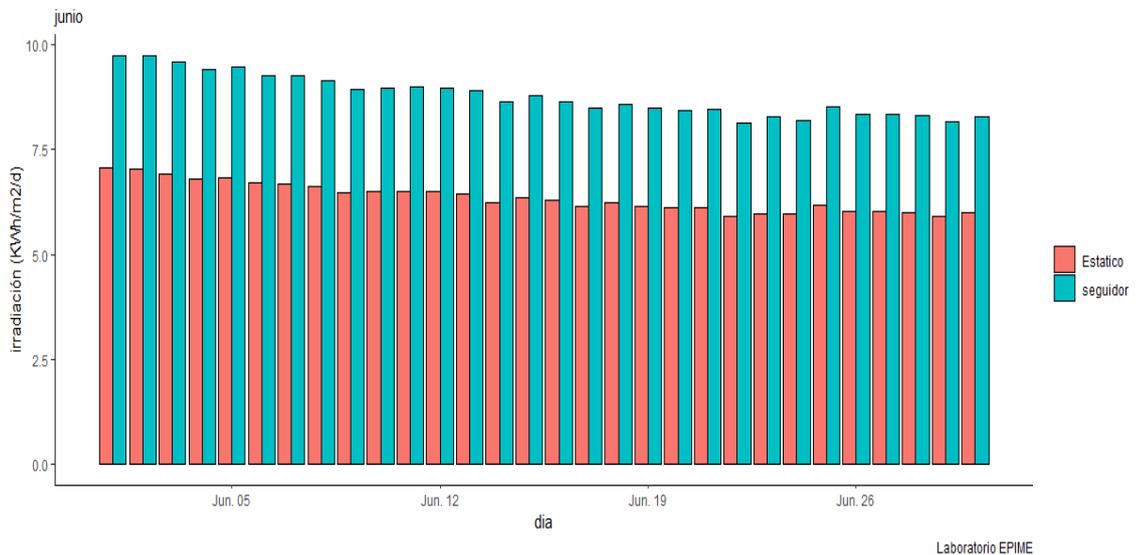
Irradiación diaria mayo-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 51

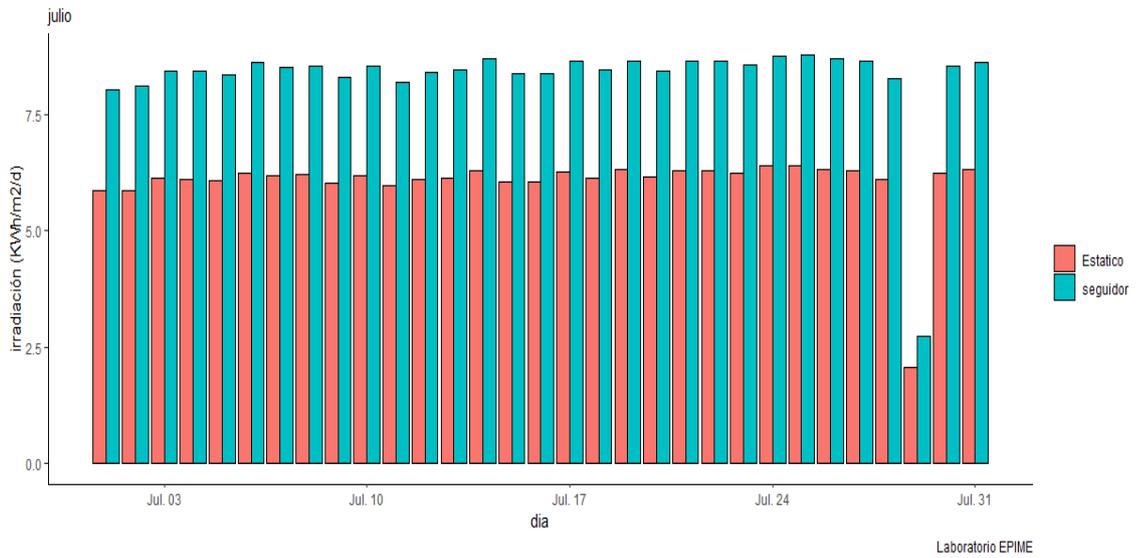
Irradiación diaria junio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 52

Irradiación diaria julio-2023



Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 12

Irradiación diaria de ambos sistemas

Abril			Mayo			Junio			Julio		
Día	Modulo estático	Modulo seguidor	Día	Modulo estático	Modulo seguidor	Día	Modulo estático	Modulo seguidor	Día	Modulo estático	Modulo seguidor
1	7.200	9.922	1	7.456	10.289	1	7.058	9.753	1	5.871	8.037
2	7.183	9.890	2	7.582	10.472	2	7.043	9.727	2	5.856	8.096
3	6.907	9.480	3	7.662	10.567	3	6.919	9.586	3	6.132	8.440
4	5.137	6.914	4	7.789	10.738	4	6.795	9.415	4	6.095	8.421
5	6.766	9.285	5	7.721	10.671	5	6.825	9.462	5	6.071	8.345
6	6.798	9.396	6	7.745	10.556	6	6.708	9.250	6	6.243	8.624
7	6.877	9.511	7	7.949	11.004	7	6.697	9.277	7	6.180	8.510
8	4.934	6.110	8	7.755	10.745	8	6.613	9.156	8	6.214	8.523
9	6.229	8.340	9	7.781	10.703	9	6.482	8.947	9	6.031	8.305
10	6.795	9.401	10	7.634	10.512	10	6.505	8.957	10	6.178	8.527
11	6.717	9.285	11	7.727	10.667	11	6.512	9.003	11	5.967	8.196
12	6.784	9.329	12	7.557	10.412	12	6.505	8.981	12	6.092	8.391
13	6.847	9.487	13	7.732	10.664	13	6.451	8.897	13	6.120	8.459
14	6.818	9.444	14	7.606	10.474	14	6.248	8.636	14	6.299	8.688
15	6.719	9.146	15	7.769	10.746	15	6.362	8.785	15	6.045	8.380
16	6.853	9.482	16	7.691	10.600	16	6.291	8.641	16	6.062	8.383
17	7.070	9.739	17	7.698	10.614	17	6.162	8.499	17	6.271	8.638
18	7.184	9.886	18	7.708	10.633	18	6.224	8.590	18	6.125	8.447
19	7.117	9.825	19	7.627	10.512	19	6.158	8.492	19	6.308	8.655
20	6.948	9.551	20	7.622	10.460	20	6.133	8.423	20	6.148	8.437
21	7.336	10.130	21	7.532	10.347	21	6.130	8.453	21	6.303	8.655
22	7.209	9.974	22	7.501	10.393	22	5.906	8.125	22	6.279	8.631
23	7.449	10.274	23	7.317	10.047	23	5.985	8.285	23	6.223	8.554
24	7.326	10.093	24	7.309	10.068	24	5.957	8.210	24	6.386	8.761
25	7.387	10.188	25	7.353	10.090	25	6.183	8.534	25	6.397	8.789
26	7.446	10.270	26	7.175	9.870	26	6.022	8.352	26	6.329	8.694
27	7.351	10.060	27	7.147	9.792	27	6.039	8.341	27	6.290	8.631
28	7.229	9.803	28	7.192	9.887	28	5.991	8.327	28	6.091	8.276
29	7.736	10.624	29	7.243	10.016	29	5.912	8.170	29	2.061	2.737
30	7.570	10.407	30	6.251	8.234	30	6.007	8.293	30	6.249	8.528
			31	7.150	9.858				31	6.328	8.622

Elaborado por el equipo de trabajo

4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. Prueba de no normalidad

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se utiliza en este estudio para verificar si las muestras tienen una distribución no normal, ya que el número de datos supera los cincuenta.

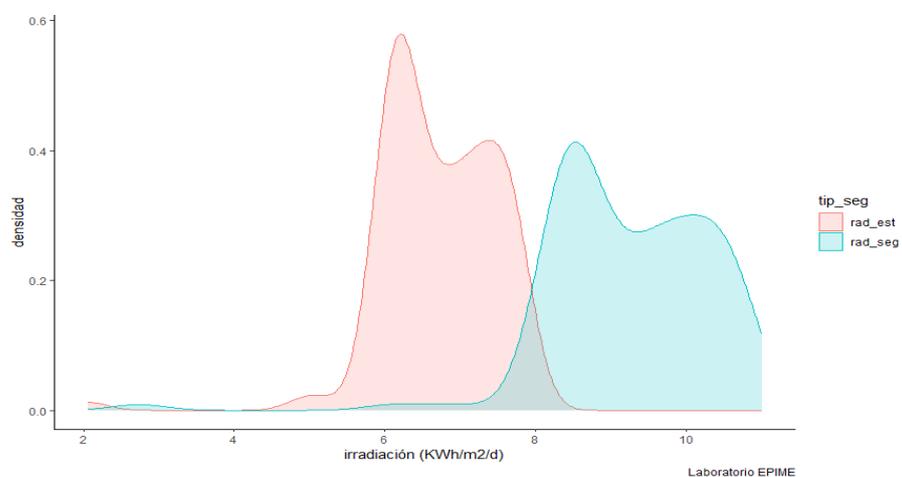
Antes de aplicar la prueba, haremos unos gráficos visuales para explorar las características de los datos y después continuaremos con el análisis propiamente dicho.

4.4.1.1. Inspección visual de los datos

La Figura 53 muestra que las muestras no tienen una distribución normal, ya que no presentan la forma típica de la curva de Gauss. Esto se confirma con las gráficas QQ de las Figura 54 y Figura 55, que indican que los datos no se ajustan a una línea recta, como se esperaría si siguieran una distribución normal.

Figura 53

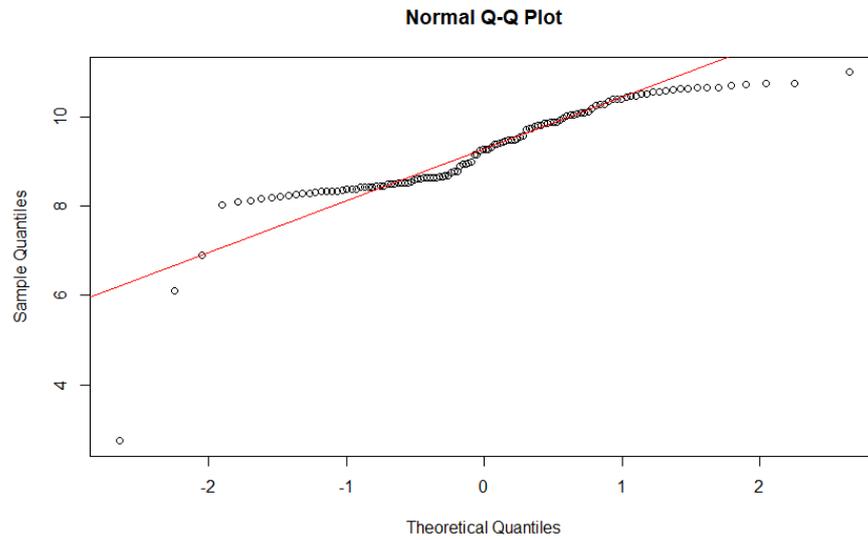
Densidad de distribución de la irradiación



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 54

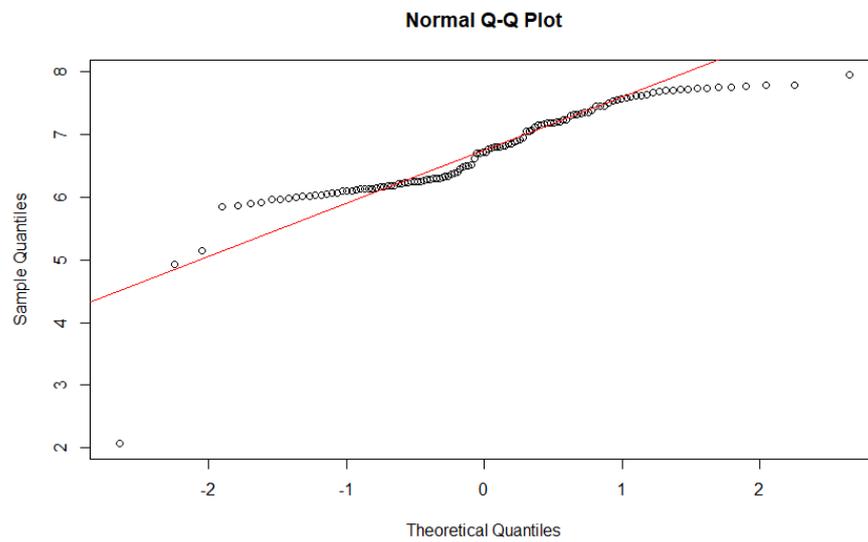
Representación QQ de la irradiación del módulo seguidor



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 55

Representación QQ de la irradiación del módulo estático



Elaborado por el equipo de trabajo



4.4.1.2. Prueba de no normalidad por Kolmogorov-Smirnov

4.4.1.2.1. Modulo seguidor

Datos: Irradiación diaria del módulo seguidor.

Planteamos la hipótesis alternativa y nula.

H₀: La irradiación del seguidor solar presenta distribución normal.

H₁: La irradiación del seguidor solar presenta distribución no normal.

del software RStudio y con la introducción de datos de irradiación diaria se derivan los siguientes resultados:

$$D = 0.11702, \quad p\text{-valor} = 0.0003087$$

Tabla 13

Evaluación del P valor

P valor	Alpha
0.0003087	< 0.05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se rechaza la H₀, por lo tanto, con una confianza del 95%, La irradiación del seguidor solar presenta distribución no normal.

4.4.1.2.2. Modulo estático

Datos: Irradiación diaria del módulo estático.

Planteamos la hipótesis alternativa y nula.

H₀: La irradiación del módulo estático presenta distribución normal.



H1: La irradiación del módulo estático presenta distribución no normal.

Del software RStudio y con la introducción de datos de irradiación diaria se derivan los siguientes resultados:

$$D = 0.11084, \quad p\text{-valor} = 0.0008622$$

Tabla 14

Evaluación del P valor

P valor	Alpha
0.0008622	< 0.05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se rechaza la Ho, por lo tanto, con una confianza del 95%, La irradiación del módulo estático presenta distribución no normal.

4.4.2. Análisis de la homogeneidad de las varianzas

Planteamos la hipótesis alternativa y nula.

Ho: La varianza entre cada grupo es igual. (Homocedasticidad)

H1: La varianza entre cada grupo no es igual. (Heterocedasticidad)

F test - Prueba para comparar dos varianzas

Datos: Irradiación por tipo de modulo.

Del software RStudio se derivan los siguientes resultados:

$$F = 0.50088, \text{ num } df = 121, \text{ denom } df = 121, p\text{-valor} = 0.0001713$$

Hipótesis alternativa: La verdadera razón de varianzas no es igual a 1



Intervalo de confianza del 95 por ciento:

0.3501398 0.7165267

Ejemplos de estimaciones:

Ratio de desviaciones 0.5008837

Tabla 15

Evaluación del P valor

P valor	Alpha
0.0001713	< 0.05

Elaborado por el equipo de trabajo

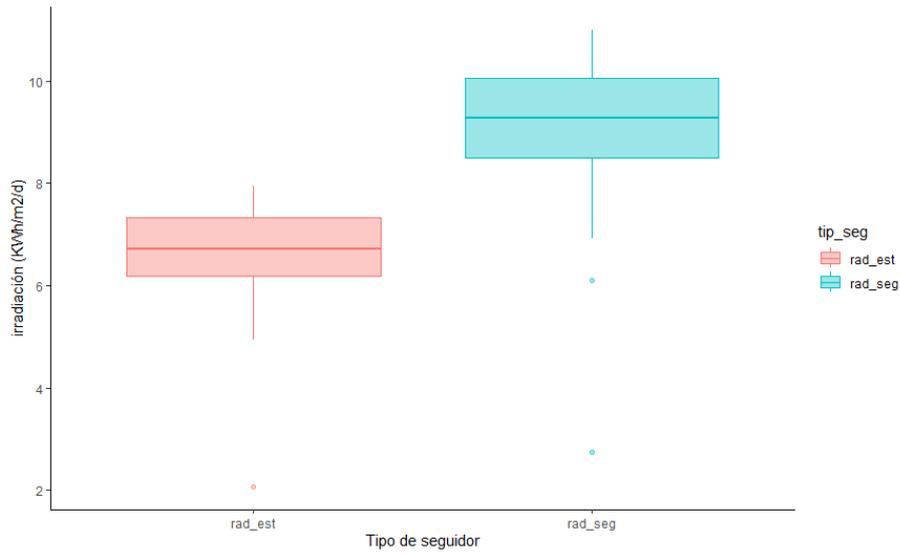
Se rechaza la H_0 , por lo tanto, con una confianza del 95%, ambas muestras presentan varianzas distintas (Existe heterocedasticidad).

4.4.3. U de Mann-Whitney-Wilcoxon

Debido a que ambas muestras presentan distribución no normal y Existe heterocedasticidad estadística se procede con la prueba de U de Mann-Whitney-Wilcoxon. Antes de aplicar la prueba, haremos un gráfico visual con un diagrama de cajas que es una representación gráfica que permite resumir las características principales de los datos (posición, dispersión, asimetría) e identificar la presencia de valores atípicos. Después continuaremos con la prueba propiamente dicha.

Figura 56

Diagrama de cajas de la irradiación



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 16

Medidas centrales de los datos

Tipo de modulo	Total	Mediana
Estático	122	6.72
Seguidor	122	9.28

Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.3.1. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon con corrección de continuidad

Planteamos la hipótesis alternativa y nula.

H₀: La mediana de la irradiación captada por el módulo estático es \geq a la mediana de la irradiación captada por el seguidor solar.

H₁: La mediana de la irradiación captada por el módulo estático es $<$ a la mediana de la irradiación captada por el seguidor solar.

Del software RStudio y con la introducción de datos de irradiación diaria se derivan los siguientes resultados:

data: Rseg\$radiacion and Rest\$radiacion

W = 271, p-valor < 2.2e-16

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Tabla 17

Evaluación del P valor

P valor	Alpha
0.000	< 0.05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se rechaza la **H₀**, por lo tanto, con una confianza del 95%, la mediana de la irradiación captada por el módulo estático es menor a la mediana de la irradiación captada por el seguidor solar.

En conclusión, *“El seguidor solar con sensores LDR se destaca al lograr una captación de irradiación superior en comparación con el*



módulo estático convencional. Esto se atribuye a la eficacia demostrada por los sensores LDR al garantizar una orientación e inclinación óptimas, contribuyendo así al mejor rendimiento global del sistema de seguimiento solar.”



V. CONCLUSIONES

Basándonos en las hipótesis planteadas y los datos obtenidos durante el estudio, las siguientes conclusiones pueden extraerse:

- Los parámetros técnicos de ambos sistemas fueron evaluados y se encontró que el sistema solar tracker con sensores LDR demostró ser eficiente y confiable en varias condiciones, esto debido a la resistencia que demostró los sensores LDR ante las inclemencias climatológicas y características de operación presentes en el sistema. Al igual que los aspectos técnicos en términos de durabilidad y robustes del sistema estático convencional propio de la sencillas del mismo, respaldando la validez de esta hipótesis.
- Los datos recopilados mostraron claramente que el sistema solar tracker con sensores LDR captó una irradiancia significativamente mayor en comparación con el mecanismo fijo convencional, esto se debe a la eficacia evidenciada por los sensores LDR al asegurar una orientación e inclinación óptimas, lo que repercute en un aprovechamiento superior para el sistema de seguimiento solar incluso en condiciones variables como días soleados y eventos de lluvia, respaldando así esta afirmación.
- La eficiencia del sistema solar tracker con sensores LDR fue consistentemente superior, demostrando en rendimiento promedio de 37.519% más alto en comparación con el mecanismo fijo convencional, llegando hasta 38.979% hecho que se presentó el día 211 de experimentaciones donde el mecanismo seguidor solar acumulo una irradiación de 8.327 KWh/m²/d respecto a los 5.991 KWh/m²/d del



mecanismo fijo convencional. Estos resultados son fundamentales y respaldan la superioridad del sistema solar tracker con sensores LDR en términos de eficiencia.

En resumen, los datos y análisis recopilados en este estudio confirman de manera concluyente que el sistema solar tracker con sensores tipo LDR supera al mecanismo fijo convencional tanto en irradiancia como en irradiación captada. Estas conclusiones son valiosas y proporcionan una base sólida para la implementación práctica de sistemas fotovoltaicos, respaldando la adopción generalizada de tecnologías más eficientes y sostenibles en el campo de la energía solar.



VI. RECOMENDACIONES

- Sería valioso examinar en futuras investigaciones la durabilidad y el mantenimiento a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos implementados con sensores LDR en condiciones ambientales específicas de nuestro medio local, como la exposición a altas temperaturas o la presencia de polvo en regiones áridas.
- También de la implementación del sistema de seguidor solar con sensores LDR, existen varias áreas de investigación que podrían ser exploradas en futuras tesis relacionadas con la energía solar. Una dirección prometedora podría ser investigar la influencia de diferentes tipos de tecnologías de seguimiento solar con sensores LDR, como sistemas de seguimiento de un solo eje o sistemas de doble eje, y comparar su aprovechamiento en las características del medio geográfico y climático presentes en otros lugares de la región de Puno.
- Además, basándonos en los resultados obtenidos de la evaluación de eficiencia entre el sistema de seguidor solar con sensores LDR y el sistema estático convencional, se recomienda firmemente la implementación del sistema de seguidor solar en aplicaciones fotovoltaicas similares. La investigación demostró de manera concluyente que el sistema de seguidor solar supera al sistema estático en eficiencia. Estos hallazgos son especialmente significativos dado el contexto de las pruebas, que mayormente se llevaron a cabo en días soleados, lo que resalta la capacidad del seguidor solar para aprovechar al máximo las condiciones de alta irradiación. Por lo tanto, se sugiere considerar cuidadosamente estos resultados al planificar futuros proyectos fotovoltaicos, ya que el sistema de seguidor solar con sensores LDR ha demostrado ser una elección superior tanto en términos de eficiencia.



- Por último, considerando la creciente importancia de la sostenibilidad, futuras tesis podrían enfocarse en el análisis del ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos, evaluando su impacto ambiental global y comparando diferentes tecnologías desde una perspectiva ecológica. Explorar estas áreas proporcionaría una comprensión más completa y detallada del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos en diversas condiciones, permitiendo así desarrollar soluciones más eficientes y sostenibles para la generación de energía solar.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amadi, H. N., y Gutierrez, S. (2019). Design and performance evaluation of a Dual-Axis solar tracking system for rural applications. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(1). <https://doi.org/10.24018/EJECE.2019.3.1.52>
- Arduino Uno rev3 — arduino official store. (s. f.). Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- Borja. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre la energía fotovoltaica* (2.^a ed.).
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*.
- Castejón, A., y Santamaria, G. (s. f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*.
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación.
- Curso básico energía solar fotovoltaica*. (s. f.). <https://www.monsolar.com/>
- Diaz, T., y Carmona, G. (s. f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. McGrawHill.
- Eko, E., Marausna, G., y Rasmi, R. (2022). Analisis perbandingan hasil daya listrik panel surya dengan solar tracker dan tanpa solar tracker. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2). <https://doi.org/10.32487/jtt.v10i2.1426>
- Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. (2019).
- Facho, J. R., y Vidal, R. C. (2019). Diseño de un panel solar de autoposicionamiento con accesorio colector para vivienda unifamiliar en el caserío Pañalá - Morrope [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. En *Repositorio Institucional - USS*. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5584>
- Gaeid, K. S., Uddin, M. N., Mohamed, M. K., y Mohmmoud, O. N. (2020). Design and Implement of Dual Axis Solar Tracker System Based Arduino. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 27(2). <https://doi.org/10.25130/tjes.27.2.09>



- Gonzales, M. B., Cohaila, A. E., y Paredes, E. C. (2019). Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos. *Ciencia & Desarrollo*, 0(10), 43-46. <https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.196>
- Hernández, R., y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGRAW-HILL Interamericana editores,S.A. de C.V.
- L. Gasquet, H. (2004). *Conversión de la luz solar en energía eléctrica manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. <http://www.epsea.org/esp/energiaelectrica.html>
- Lewandoski, C. F., Santos, R. F., Man Kit Sio, J. P., Almeida, M. de, y Ikpehai, A. (2021). The Advantages of Solar Tracker. *International Journal of Environmental Resilience Research and Science*, 3(1).
- Mamani, Y. K., y Mamani, C. O. (2019). Determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico marca sunbe solar tipo slp 60-12 de 60 w bajo las condiciones ambientales de Puno con énfasis en la intensidad de radiación solar [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. En *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12379>
- Mancilla, C. E., y Pardo, A. A. (2020). Diseño a Escala de Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar para Carga de Baterías de Dispositivos Portátiles en la UAP-Jaén [Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Jaén]. En *Universidad Nacional de Jaén*. <http://localhost/jspui/handle/UNJ/211>
- Mohd, M. N. A., Jumaat, S. A., y Jawa, C. R. A. (2020). Dual axis solar tracker with iot monitoring system using arduino. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1). <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.pp451-458>
- Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. (s. f.).
- NCEI geomagnetic calculators*. (s. f.). Recuperado 4 de octubre de 2023, de <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination>



- Nguyen, B. T., y Ho, H. X. T. (2020). Design, implementation and performance analysis of a dual axis solar tracking system. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(3), 41-45. <https://doi.org/10.25046/AJ050306>
- Ocsirendi, O., Surojo, S., Sarwanto, M., y Supatria, M. (2023). Dua axis solar tracker menggunakan penggerak air dengan mppt (maximum power point tracking). *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 6(1), 37-42. <https://doi.org/10.24853/RESISTOR.6.1.37-42>
- Ortega, L., y Cañadas, V. (2015). *Energía solar fotovoltaica*.
- Padilla, A., Chamba, S. C., Sarango, E. M., y Jiménez, M. E. (2022). Diseño e implementación de un seguidor solar para aumentar el rendimiento de generación. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, N°. 4, 2022, 7(4), 7*. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3823>
- Panel solar fotovoltaico, análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos*. (s. f.). Recuperado 12 de julio de 2023, de <https://eliseosebastian.tumblr.com/post/156176932111/an%C3%A1lisis-de-la-curva-i-v-en-paneles-fotovoltaicos>
- Pareja, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo.
- Perpiñán, O. (2023). *Energía Solar Fotovoltaica* (2023.^a ed.). Creative Commons. <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- ¿Qué inclinación debe tener un panel solar?* (s. f.). Recuperado 4 de octubre de 2023, de <http://calefaccion-solar.com/que-inclinacion-debe-tener-un-panel-solar.html>
- Reguladores de voltaje, clasificación, reguladores discretos - Electrónica Unicrom*. (s. f.). Recuperado 3 de diciembre de 2023, de <https://unicrom.com/reguladores-de-voltaje-clasificacion-regulado/>
- RTC ds1307 timer component precision | electrical world: rtc ds1307 timer component precision*. (s. f.). Recuperado 14 de julio de 2023, de <http://antekel.blogspot.com/2015/04/rtc-ds1307-timer-component-precision.html>
- Sağlam, S. (2019). Iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik (pv) sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi [Tesis de maestría]. En *ORDU*



ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI. Instituto universitario de ciencias
naturales y aplicadas de Ordu.

Sawant, A., Bondre, D., Joshi, A., Tambavekar, P., y Deshmukh, A. (2019). Design and analysis of automated dual axis solar tracker based on light sensors. *Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2018*, 454-459. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2018.8653779>

SD Card module – Earth Bondhon. (s. f.). Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://earthbondhon.com/sd-card-module/>

Sensor de corriente ACS712 con arduino arduino. (s. f.). Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://electronicamade.com/sensor-de-corriente-ac712-con-arduino/>

Single channel 5V relay module. (s. f.). Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://www.mybotic.com.my/module/relay-module/single-channel-5v-relay-module>

Tobajas, M. C. (2005). *Energía solar fotovoltaica* (S. L. Cano Pina, Ed.; 2.^a ed.). Ediciones Ceysa. www.canopina.com

Vilcanqui, J. A. (2020). *Estudio para el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes auto configurable para paneles fotovoltaicos* [Trabajo de pregrado, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16934>

Villaseca, P. W. (2020). Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. En *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55584>

Yildirim, M. A. (2020). Maximum Power Point Tracking Techniques for Solar Photovoltaic Applications [Tesis, Environmental and Power Engineering]. En *Faculty: Environmental and Power Engineering Specialization: Energy Systems and Machinery*. www.wisie.pk.edu.pl



ANEXOS

ANEXO 1: Algoritmo de programación

```
void leerLDRs() {

    LRD_este = analogRead(sensorEste);
    L_este = iluminacion01(1870,86,4.7,LRD_este); //llamada a funcion

    LRD_oeste = analogRead(sensorOeste);
    L_oeste = iluminacion01(2260,86,4.7,LRD_oeste);
    //.....

    LRD_norte = analogRead(sensorNorte);
    L_norte = iluminacion01(1890,90,4.7,LRD_norte);

    LRD_sur = analogRead(sensorSur);
    L_sur = iluminacion01(1600,90,4.7,LRD_sur);

    //.....

    LRD_sensor = analogRead(sensorSolo);
    L_sensor = iluminacion01(1900,99,4.7,LRD_sensor);

}
//-----
int iluminacion01(int A,int B,int Rc,int Ana){
    //long A = 1000;    Resistencia en oscuridad en KΩ
    //int B = 15;      Resistencia a la luz (10 Lux) en KΩ
    //int Rc = 4.7;    Resistencia calibracion en KΩ
    //int Ana = 1024-0 covesor analogoco

    int resultado = ((long)Ana*A*10)/((long)B*Rc*(1024-Ana)); //usar si LDR entre A0 y Vcc

    return resultado;
}
```



```
void calculo (){
    promedioA = (L_este + L_oeste)/16; // para comprar con la diferencia este y oeste

    umbralA = (L_este + L_oeste+ L_norte + L_sur + referenciaA)/5; // para comprar con 4 sensores

    promedioB = (L_norte + L_sur)/16; // para comprar con la diferencia norte sur

    //.....

    umbralB = (L_este + L_oeste + L_norte +L_sur + referenciaB)/5 ; // para comprar con 1 sensores de retorno
    //.....
    if(L_este > L_oeste){
        diferencia01 = L_este - L_oeste;
    }

    if(L_este < L_oeste){
        diferencia01 = L_oeste - L_este ;
    }
    //.....
    if(L_norte > L_sur){
        diferencia02 = L_norte - L_sur;
    }

    if(L_norte < L_sur){
        diferencia02 = L_sur - L_norte;
    }
}

void interpretar01() {

    if (L_este != L_oeste){

        if (diferencia01 >promedioA){ // si deferaia es mayor mover motor

            if (L_este > umbralA && L_este > L_oeste){
                MoverMotor01(atras);
            }

            if (L_oeste > umbralA && L_este < L_oeste){
                MoverMotor01(adelante);
            }
        }
        //..
        if (diferencia01 < promedioA){ // si deferaia es menor parar motor
            MoverMotor01(parado);
            delay(20);
        }
    }
}
```



```
//.....
if (L_este < umbralA && L_oeste < umbralA){
    MoverMotor01(parado);
    delay(20);
}
//.....
if (L_este == L_oeste){
    MoverMotor01(parado);
    delay(20);
}
}
//-----
//-----
void interpretar02() {

if (L_norte != L_sur){

    if (diferencia02 > promedioB){

        if (L_norte > umbralA && L_norte > L_sur){
            MoverMotor02(adelante);
            //MoverMotor02(atras);
        }
        if (L_sur > umbralA && L_norte < L_sur){
            MoverMotor02(atras);
            //MoverMotor02(adelante);
        }

        if (diferencia02 < promedioB){
            MoverMotor02(parado);
            delay(40);
        }
    }
}
//.....
if (L_norte < umbralA && L_sur < umbralA){
    MoverMotor02(parado);
    delay(40);
}
if (L_norte == L_sur){
    MoverMotor02(parado);
    delay(40);
}

void amanecer(){
if(umbralB > L_sensor ){

    retorno = 0; //si es 0 en marcha
}

if(umbralB < L_sensor ){

    retorno = 1; // si es 1 va para atras a pocicion inicial (este)
    MoverMotor02(adelante);
    MoverMotor01(parado);
}
```



```
void LeerBotones() {
  BotNorte = digitalRead(BTnorte);
  BotSur   = digitalRead(BTsur);
  BotEste  = digitalRead(BTeste);
  BotOeste = digitalRead(BToeste);

  if ( BotEste != BotOeste) { //botonA1 este
    temp0 = temp0 + 1;
    if ( BotEste == 0) {
      if (temp0 > 20) {
        temp0 = 22;
        temp1 = 0;
        MoverMotor01(adelante);
        MoverMotor02(parado);
        presBOT01 = 1;
      }
    }
    if (BotOeste == 0) { //botonA2 oeste.....
      if (temp0 > 20) {
        temp0 = 22;
        temp1 = 0;
        MoverMotor01(atras);
        MoverMotor02(parado);
        presBOT01 = 1;
      }
    }
    if (BotEste == BotOeste) {
      temp1 = temp1 + 1;
      if (temp1 > 20) {
        temp1 = 22;
        temp0 = 0;
        // MoverMotor01(parado);
        presBOT01 = 0;
      }
    }
  }

  //.....
  if (BotNorte != BotSur) {
    temp2 = temp2 + 1;
    if (BotNorte == 0) { //botonB1 norte
      if (temp2 > 20) {
        temp2 = 22;
        temp3 = 0;
        MoverMotor02(adelante);
        MoverMotor01(parado);
        presBOT02 = 1;
      }
    }
  }
}
```



```
    if (BotSur == 0) { //botonB2 sur
      if (temp2 > 20) {
        temp2 = 22;
        temp3 = 0;
        MoverMotor02(atras);
        MoverMotor01(parado);
        presB0t02 = 1;
      }
    }
  }

  if (BotNorte == BotSur) { //botonB2 sur
    temp3 = temp3 + 1;
    if (temp3 > 20) {
      temp3 = 22;
      temp2 = 0;
      // MoverMotor02(parado);
      presB0t02 = 0;
    }
  }

void LeerFCarreraEO() {
  if (digitalRead(6) == 1) { //si es 1 no se toco el final de carrera ES
    if (digitalRead(7) == 1) { //si es 1 no se toco el final de carrera OE
      finaleO = 0;
      delay(2);
    }
  }
  //.....
  if (digitalRead(6) == 0) { //si es 0 se toco el final de carrera ES(final de adelante ES)
    if (digitalRead(7) == 1) { //si es 1 no se toco el final de carrera OE
      finaleO = 1;
      delay(2);
    }
  }
  //.....
  if (digitalRead(6) == 1) { //si es 1 no toco el final de carrera(final de adelante ES)
    if (digitalRead(7) == 0) { //si es 0 se toco el final de carrera(final de adelante OE)
      finaleO = 2;
      delay(2);
    }
  }
  //.....
  if (digitalRead(6) == 0) { //si es 1 no toco el final de carrera(final de adelante ES)
    if (digitalRead(7) == 0) { //si es 0 se toco el final de carrera(final de adelante OE)
      finaleO = 3;
      delay(2);
    }
  }
}
```



```
//-----  
void LeerFCarreraNS() {  
  if (digitalRead(8) == 1) {          //si es 1 no se toco el final de carrera NR  
    if (digitalRead(9) == 1) {      //si es 1 no se toco el final de carrera SU  
      finalNS = 0;  
      delay(2);  
    }  
  }  
  //.....  
  if (digitalRead(8) == 0) {          //si es 0 se toco el final de carrera EO(final de adelante EO)  
    if (digitalRead(9) == 1) {      //si es 1 no se toco el final de carrera OE  
      finalNS = 1;  
      delay(2);  
    }  
  }  
  //.....  
  if (digitalRead(8) == 1) {          //si es 1 no toco el final de carrera(final de adelante EO)  
    if (digitalRead(9) == 0) {      //si es 0 se toco el final de carrera(final de adelante OE)  
      finalNS = 2;  
      delay(2);  
    }  
  }  
  //.....  
  if (digitalRead(8) == 0) {          //si es 1 no toco el final de carrera(final de adelante EO)  
    if (digitalRead(9) == 0) {      //si es 0 se toco el final de carrera(final de adelante OE)  
      finalNS = 3;  
      delay(2);  
    }  
  }  
  //=====  
void MoverMotor01(int moverEO) {      //int moverEO si es 0 no se mueve,  
  //es 1 este a este, es 2 oeste a este  
  switch (moverEO) {  
    //.....  
    case 1: {                          //Si 1 marcha adelante EO  
      if (finalEO == 0) {  
        AdelanteMOT01();  
      }  
      if (finalEO == 1) {  
        PararMOT01();  
      }  
      if (finalEO == 2) {  
        AdelanteMOT01();  
      }  
      if (finalEO == 3) {  
        PararMOT01();  
      }  
    }  
  }  
  break;  
}
```



```
case 2: {
    if (finalEO == 0) {
        AtrasMOT01();
    }
    if (finalEO == 1) {
        AtrasMOT01();
    }
    if (finalEO == 2) {
        PararMOT01();
    }
    if (finalEO == 3) {
        PararMOT01();
    }
}
break;
//.....
case 0:
    PararMOT01();
    break;
//=====
void MoverMotor02(int moverNS) { //int moverPanel si es 0 no se mueve,
//es 1 este a oeste,es 2 oeste a este
switch (moverNS) {
//.....
case 1: { //Si 1 marcha adelante EO
    if (finalNS == 0) {
        AdelanteMOT02();
    }
    if (finalNS == 1) {
        PararMOT02();
    }
    if (finalNS == 2) {
        AdelanteMOT02();
    }
    if (finalNS == 3) {
        PararMOT02();
    }
}
break;
//.....
//.....
case 2: {
    if (finalNS == 0) {
        AtrasMOT02();
    }
    if (finalNS == 1) {
        AtrasMOT02();
    }
    if (finalNS == 2) {
        PararMOT02();
    }
    if (finalNS == 3) {
        PararMOT02();
    }
}
break;
//.....
case 0:
    PararMOT02();
    break;
```



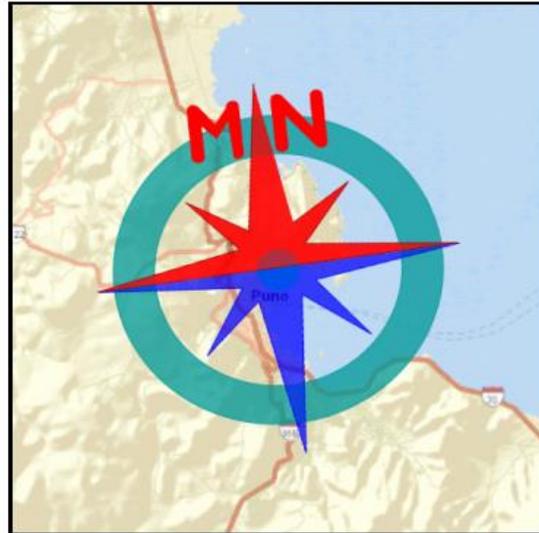
```
//=====
void AdelanteMOT01() {
    marcha01 = 1;
    digitalWrite(2, HIGH);    //motorA1  en marcha adelante
    digitalWrite(3, LOW);    //motorA2
}
void AtrasMOT01() {
    marcha01 = 2;
    digitalWrite(2, LOW);    //motorA1  en marcha atras
    digitalWrite(3, HIGH);   //motorA2
}
void PararMOT01() {
    marcha01 = 0;
    digitalWrite(2, LOW);    //motorA1  parado
    digitalWrite(3, LOW);   //motorA2
}
//-----
//-----
void AdelanteMOT02() {
    marcha02 = 1;
    digitalWrite(4, HIGH);   //motorB1  en marcha adelante
    // digitalWrite(5, LOW);   //motorB2
    analogWrite(5, 127);
}
void AtrasMOT02() {
    marcha02 = 2;
    digitalWrite(4, LOW);    //motorB1  en marcha atras
    // digitalWrite(5, HIGH);  //motorB2
    analogWrite(5, 127);
}
void PararMOT02() {
    marcha02 = 0;
    digitalWrite(4, LOW);    //motorB1  parado
    digitalWrite(5, LOW);    //motorB2
}
}
```

ANEXO 2: Declinación



Declination

Date	2023-04-01
Latitude	15° 49' 27" S
Longitude	70° 00' 48" W
Elevation	0.0 km GPS
Model Used	WMM-2020
Declination	7° 46' W changing by 0° 13' W per year
Uncertainty	0° 21'



The compass shows the bearing of the local magnetic field relative to geographic north.

Magnetic declination is the angle between true north and the horizontal trace of the local magnetic field. In general, the present day field models such as the IGRF and World Magnetic Model (WMM) are accurate to within 30 minutes of arc for the declination. However, local anomalies exceeding 10 degrees, although rare, do exist.

Document created: 2023-03-30 17:16 UTC

Help: [How to interpret results](#) Questions: geomag.models@noaa.gov

ANEXO 3: Fabricación de la estructura del módulo estático de prueba



ANEXO 4: Instalacion del modulo seguidor solar



ANEXO 5: Pintado de líneas de seguridad



ANEXO 6: Modulo fotovoltaico de 20W



Item No.	TEC105S-20
TYPE	Mono
Peak Power(Pmax)	20W
Peak Circuit Voltage(Voc)	21.5V
Max. Power Voltage(Vmp)	17.2V
Short Circuit Current(Isc)	1.25A
Max.power Current(Imp)	1.16A
Power Tolerance Range	±5%
Maximum System Voltage	600V
Temperature Range	-40~+80°C
Standard Testing Condition	AM1.5,1000W/m ² ,25°C

 WARNING-ELECTRICAL SHOCK HAZARD

This photovoltaic Module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions.



Japan



ANEXO 7: Modulo seguidor solar en funcionamiento





ANEXO 8: Modulo estático en funcionamiento



ANEXO 9: Calibración de los sensores de toma de datos



ANEXO 10: Modulo integral de análisis experimental del seguidor solar y el panel estático





ANEXO 11: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Nosotros Adalid Gonzalo Paredes Quispe, identificado con DNI 46749846 y Eber Lucio Portada Mamani, identificado con DNI 48056246 en nuestra condición de egresados de:

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

Ingeniería Mecánica Eléctrica, informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“EFICIENCIA DE UN SISTEMA SOLAR TRACKER CON SENSORES TIPO LDR Y UN MECANISMO FIJO CONVENCIONAL, EN LA REGIÓN PUNO.”

Es un tema original.

Declaramos que el presente trabajo de tesis es elaborado por nosotros 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.

Dejamos 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, ratificamos que somos plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumimos la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, nos sometemos a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma nos sometemos a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de diciembre de 2023

Adalid Gonzalo Paredes Quispe



Huella

Eber Lucio Portada Mamani



Huella



ANEXO 12: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Nosotros Adalid Gonzalo Paredes Quispe, identificado con DNI 46749846 y Eber Lucio Portada Mamani, identificado con DNI 48056246 en nuestra condición de egresados de:

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

Ingeniería Mecánica Eléctrica, informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“EFICIENCIA DE UN SISTEMA SOLAR TRACKER CON SENSORES TIPO LDR Y UN MECANISMO FIJO CONVENCIONAL, EN LA REGIÓN PUNO.”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmamos y garantizamos ser los legítimos, únicos y exclusivos titulares de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, damos seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizamos a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizamos que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribimos el presente documento.

Puno 18 de diciembre de 2023

Adalid Gonzalo Paredes Quispe



Huella

Eber Lucio Portada Mamani



Huella