



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



COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES
FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS,
DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022

TESIS

PRESENTADA POR:

MARIO JOSE QUISPE CONDORI

GILBERTO ROMARIO GOMEZ QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FI

AUTOR

MARIO JOSE & GILBERTO ROMARIO QUI
SPE CONDORI & GOMEZ QUISPE

RECuento DE PALABRAS

24109 Words

RECuento DE CARACTERES

133276 Characters

RECuento DE PÁGINAS

154 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 29, 2024 11:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 29, 2024 11:59 PM GMT-5

● 19% de similitud general

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA
ING. MECANICO ELECTRICISTA
CIP 78419



M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
EPIIME

Resumen



DEDICATORIA

“La idea de cambiar el mundo radica de la voluntad propia de uno mismo”.

Ante todo, dedico este trabajo a Dios, el Todopoderoso, por permitirme llegar a este instante tan especial de mi vida.

Mi tesis la dedico a mis queridos padres, a quienes les debo todo en esta vida, les agradezco el cariño, la comprensión y el apoyo que me brindaron para culminar mi carrera profesional, quienes son los que me impulsan a superarme cada día y me ayudan a levantarme en cada caída. Quienes son mis más grandes ídolos de superación a seguir.

A mis hermanos y seres queridos, porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que depositan en mí; por el apoyo y amistad incondicional.

Mario Jose Quispe Condori



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Isidro Gomez Huanca y Juliana Quispe Coaquira, cuyo amor y guía siempre han sido mi faro. A mis hermanos y hermanas, por su apoyo incondicional día en día. A mis amigos, que han estado a mi lado en cada paso de este viaje, proporcionando risas y apoyo en los momentos más necesarios. Y finalmente, a todos aquellos que buscan conocimiento, con la esperanza de que este trabajo pueda ser un pequeño paso en el camino hacia un mundo mejor.

Gilberto Romario Gomez Quispe



AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a nuestra querida Universidad UNA-PUNO, que nos formó profesional y humanamente.

Queremos expresar, nuestro más profundo agradecimiento a todos los que han, hecho posible la realización de este trabajo. A nuestros docentes que con su ejemplo supieron forjarnos en los duros crisoles del trabajo y del sacrificio.

Además, agradecemos en especial a nuestro asesor de tesis, por su paciencia, sabiduría y dedicación incansable. A nuestros compañeros de estudio y amigos, por su apoyo. A nuestros familiares, por su amor incondicional.

Mario Jose Quispe Condori
Gilberto Romario Gomez Quispe



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2. Problemas específicos	22
1.3. HIPÓTESIS	22
1.3.1. Hipótesis general	22
1.3.2. Hipótesis específicas	23
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	23
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.5.1. Objetivo general	25
1.5.2. Objetivos específicos	25



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	26
2.1.1.	A nivel internacional	26
2.1.2.	A nivel nacional	29
2.2.	MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.	Sistemas fotovoltaicos.....	32
2.2.1.1.	Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.....	33
2.2.1.1.1.	Fuente de energía solar	33
2.2.1.1.2.	Distribución espectral de la radiación solar	33
2.2.1.1.3.	Irradiancia y constante solar	34
2.2.1.1.4.	Componentes de la radiación	36
2.2.1.1.5.	Masa de aire	38
2.2.1.1.6.	Producción de energía.....	39
2.2.2.	Conceptos, elementales de astronomía de posición solar	42
2.2.2.1.	Declinación solar.....	42
2.2.2.2.	Posición, del sol respecto, a un punto de la tierra.....	45
2.2.2.3.	Trayectoria aparente del Sol	48
2.2.2.4.	Determinación de incidencia solar sobre la superficie.....	51
2.2.2.5.	Ángulo de altitud del Sol al mediodía solar	52
2.2.3.	Celdas y módulos fotovoltaicos	54
2.2.3.1.	Física básica del semiconductor.....	54
2.2.3.2.	Principio de trabajo de una célula solar	56
2.2.3.3.	Célula fotovoltaica genérica.....	59



2.2.3.4. Fundamentos teóricos del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos.....	62
2.2.3.5. Tipos de módulos fotovoltaicos	63
2.2.3.6. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos	67
2.2.3.7. Inclinación óptima para módulos en sistemas fijos	68
2.2.4. Sistemas fijos	68
2.2.5. Condiciones climáticas y geográficas de la ciudad de Puno.....	69
2.2.6. Impacto de las condiciones ambiental en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos	70
2.2.7. Fundamento teórico de una adquisición de datos (SAD).....	70
2.2.8. Normativa.....	71
2.2.8.1. Norma IEC 61724	71

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	79
3.2. MATERIALES.....	79
3.2.1. Paneles fotovoltaicos.....	79
3.2.2. Regulador de carga.....	80
3.2.3. Baterías.....	81
3.2.4. Conductores y conectores	82
3.2.5. PLC	83
3.2.6. Sistema de carga (8 focos led de 7w).....	84
3.2.7. Sensor de temperatura tipo PT100	85
3.2.8. Estructura de soporte para panel solar.....	86
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	87



3.3.1. Población.....	87
3.3.2. Muestra.....	87
3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	87
3.4.1. Tipo de investigación	87
3.4.2. Diseño de la investigación	88
3.5. MODELO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO	88
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOJO DE DATOS	89
3.7. VARIABLES	89
3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	90
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DATOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	91
4.2. ESQUEMA DE INSTALACIÓN.....	93
4.3. RESULTADOS.....	95
4.3.1. Resultados de la irradiación en el plano, energía generada, rendimiento energético, eficiencia promedio y performance para paneles Monocristalinos.....	95
4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS	107
4.4.1. Prueba de normalidad de los datos.....	107
4.4.2. Prueba de homocedasticidad de varianzas (homogeneidad).....	107
4.4.3. Hipótesis general	108
4.4.4. Hipótesis específicas	111
4.5. DISCUSIÓN	117
V. CONCLUSIONES.....	122
VI. RECOMENDACIONES	124



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
ANEXOS.....	133

ÁREA: Energías renovables

TEMA: Sistemas fotovoltaicos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 de agosto del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Principales fabricantes de módulos fotovoltaicos en el mundo. 2018..... 41
Tabla 2	Formula de la, declinación solar, ángulo que forma el vector tierra-sol y el plano ecuatorial 42
Tabla 3	Tabla de las Características físicas de los módulos 67
Tabla 4	Tabla de las características eléctricas de los módulos 67
Tabla 5	Parámetros eléctricos requeridos: Clase A, Clase B 73
Tabla 6	Requisitos de precisión para la medición de parámetros eléctricos 74
Tabla 7	Requisitos de intervalos de muestreo y registro 75
Tabla 8	Datos de la temperatura media mensual (°C) y el promedio velocidad de viento media mensual (m/s)..... 91
Tabla 9	Tabla de estadísticos básicos sobre temperatura y promedio de velocidad mensual..... 92
Tabla 10	Tabla del promedio de irradiancia por mes 92
Tabla 11	Resultados de panel monocristalino 96
Tabla 12	Resultados de paneles policristalinos 97
Tabla 13	Datos estadísticos por tipo de panel 98
Tabla 14	Energía generada del panel policristalino y monocristalino..... 99
Tabla 15	Rendimiento energético del array - panel policristalino y monocristalino 100
Tabla 16	Tabla de la eficiencia de los paneles policristalino y monocristalino 102
Tabla 17	Tabla de performance ratio (PR) por tipo de panel 103
Tabla 18	Tabla de la temperatura del ambiente y de la superficie por tipo de panel 105



Tabla 19	Estadísticas por tipo de panel para el performance ratio (PR)	109
Tabla 20	Estadísticas por tipo de panel para la eficiencia del panel solar.....	109
Tabla 21	Pruebas de normalidad	109
Tabla 22	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	110
Tabla 23	Prueba t para la igualdad de medias	110
Tabla 24	Estadísticas de grupo para la energía generada del panel.....	112
Tabla 25	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	112
Tabla 26	Prueba t para la igualdad de medias	112
Tabla 27	Estadísticas para el rendimiento energético del array	113
Tabla 28	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	114
Tabla 29	Resultado de la prueba t para la igualdad de medias.....	114
Tabla 30	Estadísticas para la temperatura en la superficie del panel	115
Tabla 31	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	116
Tabla 32	Resultado de la prueba t para la igualdad de medias.....	116



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Relación entre el Sol y la Tierra	35
Figura 2 Componentes de la radiación global y su incidencia sobre un panel fotovoltaico (PV)	37
Figura 3 Instrumentos utilizados para la medición de la radiación solar	38
Figura 4 Ecuación del tiempo en minutos	43
Figura 5 Esfera celeste mostrando, el movimiento, aparente del sol y el ángulo de declinación solar	44
Figura 6 Esfera celestial y coordenadas, del sol relativas, a un observador, ubicado sobre la tierra en el punto 0	46
Figura 7 Angulo cenital del Sol, altura solar y el Azimut	47
Figura 8 La eclíptica es el círculo en el que el plano orbital de la Tierra cruza la esfera celeste	49
Figura 9 Movimiento aparente, del Sol a lo largo del año	50
Figura 10 Inclinar el módulo a la luz entrante reduce la salida del módulo	51
Figura 11 Altura solar entro 0° y 90°	52
Figura 12 Configuración electrónica del Si y Ge	55
Figura 13 Redes cristalinas de Si y Ge	56
Figura 14 Efecto fotoeléctrico	57
Figura 15 Un modelo de células solares y sus procesos básicos	58
Figura 16 El proceso de dopaje de Silicio	59
Figura 17 Figura de la célula fotovoltaica	60
Figura 18 Flujo de energía por los fotones p-n	61
Figura 19 Fotografía panel solar	62



Figura 20	Celda solar de tipo monocristalino	63
Figura 21	Figura del panel solar policristalino	65
Figura 22	Panel solar 100W 12V policristalino.....	66
Figura 23	SAD Basado en microprocesador.....	71
Figura 24	Ubicación de los sistemas fotovoltaicos en Puno – Perú	79
Figura 25	Fotografía de los paneles solares	80
Figura 26	Fotografía de regulador de carga para panel solar.....	81
Figura 27	Fotografía de batería para panel solar	82
Figura 28	Fotografía de los conductores y conectores.....	83
Figura 29	Fotografía del PLC empleado para recolección de datos	84
Figura 30	Fotografía del sistema de carga	85
Figura 31	Fotografía del sensor de temperatura de tipo RTD (PT100)	85
Figura 32	Estructura de soporte para panel solar.....	86
Figura 33	Tabla de operacionalización de variables.....	90
Figura 34	Gráfico del promedio de irradiancia por mes	93
Figura 35	Esquema de funcionamiento de sistema de adquisición de datos	93
Figura 36	Detalle de estructura completa de panel solar	94
Figura 37	Detalle de ángulo óptimo de paneles solares.....	94
Figura 38	Gráfico de energía generada	100
Figura 39	Gráfico del rendimiento energetico del array por tipo de panel.....	101
Figura 40	Gráfico de la eficiencia de los sistemas por tipo de panel.....	103
Figura 41	Gráfico del performance ratio (PR) por tipo de panel.....	104
Figura 42	Gráfico de temperatura del ambiente en la superficie de los paneles.....	106



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz de consistencia	133
ANEXO 2 Toma de datos	134
ANEXO 3 Planos	138
ANEXO 4 Especificaciones técnicas	149
ANEXO 5 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	151
ANEXO 6 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	153



ACRÓNIMOS

PR:	Performance Ratio
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
IEC:	International Electrotechnical Commission
DC:	Corriente Directa
AC:	Corriente Alterna
MC4:	Multi-Contact
PLC:	Programmable Logic Controller
MPPT:	Maximum Power Point Tracking



RESUMEN

La investigación, tiene como objetivo principal comparar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales de la ciudad de Puno en un entorno urbano, y probar estadísticamente que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos. La metodología que se utiliza en este trabajo de investigación es del tipo aplicada con un diseño de investigación no experimental - longitudinal de evolución de grupo (cohortes). Para determinar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino en sistemas fijos se hicieron uso de fórmulas proporcionadas por la Norma IEC 61724 (International Electrotechnical Commission) el cual establece directrices para medir y evaluar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos. Se concluye que para el performance ratio (PR) del panel monocristalino presenta una media de 95.54% y una media de 91.96% para el panel policristalino, donde si se evidencia un mayor performance ratio en los paneles monocristalinos en comparación a los paneles policristalinos, y lo mismo pasa con la eficiencia del panel monocristalino, que presenta una media anual de 15.17% en comparación a la media anual del panel policristalino de 14.60%. Así mismo, la prueba T de Student mostró un valor de T de 36.442 y un p-valor de 0.000, menor a 0.05; esto indica que los sistemas fotovoltaicos monocristalinos tienen un mejor desempeño que los sistemas policristalinos en condiciones ambientales similares en la ciudad de Puno. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la energía generada, rendimiento energético del array y temperatura superficial de los paneles entre ambos tipos.

Palabras clave: Monocristalino, Policristalino, Potencia, Rendimiento, Temperatura



ABSTRACT

The primary objective of the research is to compare the performance of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels in fixed systems under the same environmental conditions in the city of Puno in an urban setting and to statistically prove that monocrystalline photovoltaic systems perform better than polycrystalline photovoltaic systems in fixed systems. The methodology used in this research is applied, with a non-experimental, longitudinal cohort research design. To determine the performance of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels in fixed systems, formulas provided by IEC 61724 (International Electrotechnical Commission) standard were used, which establishes guidelines for measuring and evaluating the performance of photovoltaic systems. It is concluded that for the performance ratio (PR), the monocrystalline panel has a mean of 95.54% and the polycrystalline panel has a mean of 91.96%, showing a higher performance ratio in monocrystalline panels compared to polycrystalline panels. The same applies to the efficiency of the monocrystalline panel, which has an annual mean of 15.17% compared to the annual mean of 14.60% for the polycrystalline panel. Furthermore, the Student's T-test showed a T value of 36.442 and a p-value of 0.000, less than 0.05; this indicates that monocrystalline photovoltaic systems perform better than polycrystalline systems under similar environmental conditions in the city of Puno. However, no significant differences were found in the energy generated, energy yield of the array, and surface temperature of the panels between both types.

Keywords: Monocrystalline, Polycrystalline power, Performance, Temperature



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica ha surgido como una de las fuentes de energía renovable más prometedoras y sostenibles en el contexto actual de la contaminación ambiental y necesidad de diversificación energética. Dentro de este ámbito, los paneles solares monocristalinos y policristalinos representan dos de las tecnologías más comercializadas, cada una con sus propias características y ventajas. En la ciudad de Puno, las condiciones ambientales y climáticas se presentan muy variadas, es crucial determinar cuál de estas tecnologías ofrece un mejor desempeño en sistemas fijos.

Este estudio tiene como objetivo comparar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos instalados en sistemas fijos bajo las condiciones ambientales de la ciudad de Puno durante el año 2022. A través de una evaluación detallada de indicadores clave como el performance ratio (PR), la eficiencia y otros parámetros operativos, se busca establecer cuál de estas tecnologías es más eficiente y viable para su implementación en esta región.

La investigación no solo se enfoca en la eficiencia técnica de los paneles, sino también en proporcionar datos sólidos y concluyentes que puedan ser utilizados por la comunidad estudiantil, ingenieros, empresas dedicadas a la venta e instalación de paneles solares, y la población de Puno para mejorar la infraestructura energética y promover el uso de energías renovables en el departamento Puno. A través de un diseño metodológico riguroso y un análisis estadístico robusto, se pretende ofrecer una contribución significativa al conocimiento sobre la optimización de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos de alta altitud como Puno.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales inconvenientes que nuestro planeta está viviendo es el calentamiento global que no es otra cosa que el incremento de concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera (Catalán, 2021), debido a la incineración de combustibles fósiles unido a una deforestación indiscriminada de áreas verdes, debido a un crecimiento importante de la población y la necesidad de espacios para su subsistencia. El incremento de gases como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x) contribuye al atrapamiento de calor en la Tierra, siendo estas muy negativas para el medio ambiente, y es problema mundial debido al cambio climático que estamos experimentando.

Es posible explicar y detallar todos los fenómenos del cambio climático, inundaciones, huracanes, olas de calor, sequia, etc., vistas alrededor del planeta, así como el incremento de los niveles del mar, impactos en la biodiversidad alimentaria, que se ven afectadas por los patrones de cambios en la producción agrícola, y una cadena de efectos que se viven producto de estos problemas, que aunque son malos, debemos concentrarnos en encontrar la solución a este problema, y este en particular amerita un enfoque integral que involucre a los gobiernos, industrias, comunidades y ciudadanía en general, así como la transición a fuentes de energía renovables, haciendo uso de la energía como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, a fin de reducir las emisiones de gases que inducen a un efecto invernadero.

La energía renovable es energía procedente de recursos naturales que se regenera más rápido de lo que se consume (Barragán y Llanes, 2020), por lo que su uso para este trabajo de investigación consideramos fundamental, debido a la gran cantidad de energía



desperdiciada por muchos años que proviene del sol y que no es aprovechada, minimizando de esa manera los problemas ambientales ya mencionados.

Existe una necesidad latente por el uso de energías renovables en nuestra región de Puno, y comparar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalinos y los policristalinos de sistemas fijos en nuestra región, ya que este tipo de paneles fotovoltaicos son los más comercializados. Además, es preciso mencionar que casi todo el año la cantidad de brillo solar es permanente en esta región, a excepción de la temporada de lluvia, donde la cantidad de horas de sol disminuye, pero gran parte del año, esta energía está presente y lista para ser aprovechada.

La tecnología utilizada en la fabricación de los módulos fotovoltaicos (celdas solares) es el silicio cristalino, siendo este mas común y se dividen en monocristalino y policristalino, y su principal diferencia es la eficiencia de conversión de energía. Por tanto, la elección de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos es muy importante para el rendimiento a largo plazo de los sistemas solares, así como la elección también debe estar respaldada por resultados experimentales obtenidos bajo determinadas condiciones ambientales y en constante recojo de información proveniente de dispositivos que recogen esa data. Claramente existen diferencias entre los paneles fotovoltaicos monocristalinos con los paneles policristalinos, así que nuestra investigación se basa en experimentar y determinar cual de estos dos paneles, genera una mayor cantidad de potencia proporcionados por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en sistemas fijos bajo efectos de la radiación solar, por tal motivo es que nos planteamos la siguiente interrogante de investigación.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál de los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino presenta un mejor desempeño en sistemas fijos en comparación a la otra, bajo las mismas condiciones ambientales de la ciudad de Puno dentro del área urbana?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál de los sistemas presenta una mejor producción de energía entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?
- ¿Cuál de los sistemas presenta un mejor rendimiento entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?
- ¿Cuál de los sistemas presenta una menor temperatura entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano.



1.3.2. Hipótesis específicas

- Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una mejor producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.
- Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor rendimiento que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.
- Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una menor temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El uso de paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino se basa en su capacidad para maximizar la eficiencia energética, su viabilidad económica, su popularidad en el mercado comercial y las diferencias en su rendimiento energético, lo que los hace adecuados para diferentes aplicaciones. No para todos los casos se utilizan la misma cantidad de paneles solares con la misma potencia, sino, estos se diseñan teniendo en cuenta los requisitos energéticos específicos, la ubicación geográfica, los patrones de consumo de energía y el espacio disponible. Al adaptar el sistema solar a estos factores, se puede garantizar una producción de energía óptima y evitar ineficiencias causadas por soluciones solares genéricas y únicas.

Los paneles monocristalinos suelen tener una mayor eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad en comparación con los policristalinos, sin embargo, el motivo fundamental de esta investigación es comparar y hacer un análisis del comportamiento del desempeño de los dos tipos de paneles solares monocristalino y



policristalino, y conocer con mayor detalle sobre la producción de energía eléctrica de cada uno de ellas, bajo las mismas condiciones de radiación, temperatura y velocidad del viento en la ciudad de Puno. Además, esta investigación nos ayudará a profundizar más sobre el aprovechamiento eficiente de la energía solar mediante los paneles solares.

Al considerar el uso de energía solar, uno de los aspectos fundamentales también que se deben considerar es la viabilidad económica debido a que es un factor crítico. Los paneles solares fabricados en base a celdas de silicio monocristalino y policristalino, presentan el 90% del mercado comercial y entregan una cuota de mercado de un 56% del total para los paneles solares policristalinos, que son especialmente indicados para instalaciones en las cuales no resulta un inconveniente el uso de una superficie amplia, generando muchas ventajas en el producto y comercialmente. Esta ventaja surge de varios aspectos de ahorro de costos que impactan directamente en los beneficios financieros de la energía solar.

Esta investigación resulta de gran utilidad para la comunidad estudiantil, empresas dedicadas a la venta e instalación de paneles solares, y la población de Puno, facilitando la selección del tipo de panel solar más adecuado y su dimensionamiento según las necesidades energéticas específicas.

La investigación se inició en base a un adecuado estudio del entorno especialmente en la región alto andina del sur peruano, cuyas características de los rayos solares, son diferentes a otras ubicaciones, por la posición del sol, la cantidad de radiación solar y los ángulos que tiene el sol con respecto a la tierra, etc., son factores que se han tomado para este estudio; el uso de tecnología moderna y el uso de los equipos que fueron instalados en la parte alta de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica - Laboratorio de Control de Procesos.



Como ya se ha mencionado antes, el uso de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos se basa en su capacidad para maximizar la eficiencia energética, su viabilidad económica, su popularidad en el mercado comercial y las diferencias en su rendimiento energético, lo que los hace adecuados para diferentes aplicaciones.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Comparar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales de la ciudad de Puno en un entorno urbano.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar cuál de los sistemas presenta una mejor producción de energía entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno
- Determinar cuál de los sistemas presenta un mejor rendimiento entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno
- Comparar cuál de los sistemas presenta una menor temperatura entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. A nivel internacional

García et al. (2019) en su investigación *“Análisis comparativo del rendimiento de los módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo condiciones climáticas de Fusagasugá”* indica que el objetivo de su investigación fue el de comparar dos sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino. El método utilizado se basó en la instalación dos sistemas fotovoltaicos, uno policristalino y el otro monocristalino con similares características, y para cada uno de los paneles se recogió los datos de temperatura, humedad, voltaje y corriente, “los cuales son adquiridos de forma sincronizada por un periodo de tres meses bajo condiciones climáticas locales de Fusagasugá”. En conclusión, se evidencia un mejor desempeño del módulo monocristalino que el policristalino.

Paz y Díaz (2021) en su tesis de investigación titulado *“Caracterizar variables de temperatura, voltaje, corriente y potencia entre un panel fotovoltaico monocristalino a dos centímetros de la superficie de concreto comparado con un panel en superficie estándar para determinar qué sistema es más eficiente”* donde los autores explican que esta investigación consiste en el análisis de dos paneles fotovoltaicos policristalinos y fueron instalados, uno a dos centímetros sobre el suelo de concreto y otro a una superficie estándar. Los datos fueron tomados de forma diaria, y con instrumentos especializados para posteriormente ser analizados con gráficos estadísticos que desvelan rendimiento, la vida útil, coste



y eficiencia del sistema fotovoltaico. Los resultados muestran un mejor desempeño de sistema fotovoltaico policristalino en superficie estándar.

Ayadi et al. (2022) desarrollaron una investigación sobre *“Comparación experimental entre sistemas solares monocristalinos, policristalinos y de película delgada en condiciones climáticas soleadas”*. En la revista Energy Reports. Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, Amman, Jordania. El estudio se centró en cinco sistemas solares de 5 kW cada uno, instalados en la universidad, con diferentes orientaciones. Utilizaron métricas como la relación de rendimiento (PR), rendimiento específico y eficiencia del sistema (EFF) para evaluar el desempeño. Los resultados mostraron que el sistema monocristalino orientado al sur tuvo la mayor eficiencia (12.8%), mientras que el sistema de película delgada orientado al sur tuvo la eficiencia más baja (7%). En cuanto al rendimiento específico, el sistema de película delgada orientado al sur tuvo el valor más alto de 1693 kWh/kWp, mientras que los sistemas monocristalinos y policristalinos orientados al este/oeste tuvieron los valores más bajos de 1477 kWh/kWp. En términos de PR, el sistema monocristalino orientado al sur obtuvo el valor más alto con 80.5%, mientras que el sistema policristalino orientado al este/oeste tuvo el valor más bajo con 72 %. En conclusión, los paneles monocristalinos orientados al sur mostraron el mejor rendimiento general, mientras que los sistemas de película delgada orientados al sur tuvieron el rendimiento específico más alto en relación con su capacidad instalada.

Mulcué et al. (2020) en su artículo de investigación denominado *“Evaluación del desempeño energético de módulos fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en el clima tropical de montaña: El caso de Manizales-Colombia”*. El enfoque principal de la investigación fue estudiar el desempeño



de los paneles solares monocristalino y policristalino en condiciones climáticas de Manizales-Colombia, ambos sistemas solares conectados a la red. Las variables que se temo fueron la temperatura ambiente, temperatura de los módulos, temperatura del inversor, la radiación solar en el lugar de estudio, voltajes de entrada y salida y las corrientes del inversor. Los datos fueron tomados cada 10 minutos por un periodo de cuatro estaciones, y fueron comparados atreves de gráficos; llegando a una conclusión, el módulo solar monocristalino obtuvo un Índice de Performance Ratio de 86% y mientras el módulo solar policristalino obtuvo un Índice de Rendimiento de 78%.

Žnidarec et al. (2019) desarrollaron una investigación denominada “*Evaluación del desempeño de paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo Condiciones climáticas de Pannonian*”; Croacia. Publicado en la plataforma de IEEE. El objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento de dos tipos de paneles solares, monocristalino y policristalino en condiciones climáticas de Pannonian - Croacia; cada grupo de paneles estudiados constaba de 20 módulos, conectados en serie con una potencia de 20 Wp cada uno, el ángulo de inclinación del grupo de paneles es de 7° conectado a un inversor y luego a la red. La recolección de datos se realizó por un periodo de 12 meses. El método utilizado en este estudio consistió en toma de los datos de temperatura del ambiente, valores de irradiación y la producción de energía de cada grupo de paneles en Corriente continua y en corriente alterna. Los resultados mostraron que la mayor producción energética ocurrió durante los meses de verano (junio, julio y agosto) y mientras que la menor producción y eficiencia ocurre en invierno (diciembre), como mejor rendimiento energético fue del grupo de paneles monocristalino con un porcentaje de 74.59%, mientras que para el grupo de



paneles policristalino fue 73.79%. En conclusión, En Conclusión, los paneles monocristalinos superaron en eficiencia a los paneles policristalinos en el contexto específico de esta investigación.

2.1.2. A nivel nacional

Huaman (2018) en su tesis de investigación “*Estudio comparativo de potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*”, realiza una comparación de la potencia generada por los paneles fotovoltaicos monocristalino (modelo Sunmodule SW80 mono RHA) y los paneles fotovoltaicos policristalino (modelo Sunmodule SW150 poly R6A) el cual se realizó en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Para este trabajo de investigación se obtuvieron los datos de voltaje, corriente y potencia en la ciudad del Cusco, para lo que ellos diseñaron un medidor digital versátil en base a un PIC16f877A, también se implementó un servidor web en PHP para el recojo de información del módulo Raspberry pi 3 el cual registra los parámetros de evaluación. Los resultados fueron para el panel monocristalino de 13.92V a 18.48V y para el panel policristalino de 9.65V a 16.10V; la corriente para los paneles monocristalino fue de 6.8 A a 8.56 A y de 5.31 A a 8.37 A para el panel policristalino, con una temperatura ambiente promedio de 16.77 °C y humedad relativa promedio de 44.61%. En conclusión, los paneles monocristalinos son superiores a los policristalinos en un 2.73%, con una eficiencia del 18.40% y una eficiencia de 15.67% en conversión de energía eléctrica



De La Gala (2018) en su tesis de investigación “*Implementación de un seguidor solar para la evaluación energética comparativa de paneles fotovoltaicos*” explicó que el objetivo principal es crear un seguidor, solar para, la evaluación, energética comparativa de paneles solares, uno fijo y otro en seguimiento constante, del, sol, bajo las mismas condiciones meteorológicas en la ciudad de Tacna del 20, de octubre al 10 de, noviembre del 2017. Se logró implementar un seguidor solar diario de dos (02) ejes que operan de forma automática y que también permite el registro de los datos como potencia de paneles, irradiancia, temperatura. En conclusión, la máxima temperatura registrada en las fechas indicadas fue de 38°C para el panel fotovoltaico móvil y de 34.4°C para el panel fijo, evidenciando una diferencia en la temperatura; la energía generada de forma total fue de 33,15Wh para el panel móvil en comparación con los 20,5Wh generados, por el panel, estacionario. Se evidenció una ganancia energética del 38% la cual incrementa la eficiencia del panel policristalino en un 2.45% en comparación al otro panel, y esto se debió a que este usó un seguidor solar.

Valdivieso (2021) en su tesis de investigación “*Uso de paneles fotovoltaicos de silicio cristalino para la optimización de la planta fotovoltaica de 22 MW en Majes – Arequipa*” busca la optimización de la Planta Fotovoltaica de Majes de 22 MW mediante el cambio de los paneles solares existentes de silicio amorfo por tecnologías más eficientes. La propuesta inicial fue hacer uso de paneles solares policristalinos, que se considera que influye positivamente en la mejora de la planta de energía fotovoltaica de 22 MW que se encuentra en Majes-Arequipa. La metodología utilizada para esta investigación fue la Descriptiva-Correlacional, de tipo aplicada, de corte transversal y con un diseño experimental.



Según el autor, los datos se obtuvieron de la información histórica de la planta de energía, junto con los instrumentos de control. Se llegó a la conclusión que los paneles fotovoltaicos de silicio cristalino influyen de manera positivamente en la optimización de la Planta Fotovoltaica de 22 MW en Majes, también se demostró que los paneles monocristalinos o policristalinos presentan una mejora positiva en la producción de energía solar en esta planta fotovoltaica; así mismo, que con la repotenciación de la planta con paneles RISEN de 340W, esta presenta una mayor cantidad de energía producida de un 8% adicional y que el uso de la superficie emplazada se ha reducido en un 44%, lo que facilita la ampliación y mejora de la potencia de la planta.

Zapana y Aucchahuaque (2019) en su artículo denominado “*Estudio comparativo del rendimiento de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos*” explica que su objetivo fue evaluar el mejor rendimiento promedio de los paneles fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos desarrollados en los últimos diez años, en los que se realizó su análisis. Estos utilizaron un tipo de investigación documental la que consisten la revisión sistemática de los mismos, bajo un diseño no experimental aplicada a una muestra de 10 estudios sobre el rendimiento de paneles fotovoltaicos Monocristalinos y/o Policristalino. Se llegó a la conclusión de que los paneles monocristalinos presentan un rendimiento más óptimo y una eficiencia promedio de 11.83% mayor al 9.55% de los paneles policristalinos.

Choque (2023) en su tesis denominado “*Caracterización de módulos fotovoltaicos para determinar perdidas por temperatura mediante cámara termográfica infrarroja ir - campus Ayabacas*” se tiene por objetivo general determinar pérdidas por temperatura en módulos fotovoltaicos monocristalinos y



policristalinos mediante cámara termográfica IR en el campus Ayabacas. Aplicándose el tipo de investigación aplicada-experimental, metodología de investigación emperico de observación. El autor obtuvo como resultado que las temperaturas en módulos fotovoltaicos policristalinos son superiores al del módulo monocristalino.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son esenciales para convertir la energía solar en electricidad utilizada. Están compuestos principalmente por paneles solares o módulos fotovoltaicos, que contienen células fotovoltaicas diseñadas con materiales semiconductores como el silicio. Estas células tienen la capacidad de producir corriente eléctrica cuando la luz solar las alcanza, en lo que se conoce como efecto fotovoltaico (Mokal y Mokal, 2020).

Así mismo, los sistemas fotovoltaicos no solo son una solución efectiva para la generación de electricidad limpia y renovable, sino que también contribuyen significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de sistemas energéticamente independientes y sostenibles (Vunnam et al., 2023). Su versatilidad y capacidad para adaptarse a diferentes escalas y condiciones ambientales los convierten en una tecnología clave en la transición hacia un futuro energético más sostenible y resiliente.



2.2.1.1. Fundamentos de la energía solar fotovoltaica

2.2.1.1.1. Fuente de energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol, como luz, calor y rayos ultravioleta (La Energía Solar, 2020), considerando que no toda la energía solar llega a la tierra, la potencia interceptada por la tierra es de 173,000 TW, siendo esta una cantidad muy pequeña que produce el sol, y aun así esta potencia es de alrededor de 10,000 veces mayor “que la que proporcionan todas las formas de energía que los seres humanos emplean en la Tierra” (La Energía Solar, 2020).

Según Salbidegoitia (2008) explica que la energía es necesaria e imprescindible para el desarrollo de nuestro mundo, siendo la demanda de energía en un crecimiento exponencial y que dependen de terceros para abastecerse. El petróleo es uno de los combustibles fósiles más preciados y uno de los más utilizados, sin embargo, en el futuro se espera que el suministro de petróleo se agote, donde la generación de energía solar convertida en energía eléctrica no sea lo suficiente para competir en un mercado que requiere de este medio energético, aunque su eficiencia es posible que se vea incrementada cada año, debemos centrarnos en el desarrollo e investigación y empresas que ayuden a generar esta nueva energía (Salbidegoitia, 2008).

2.2.1.2. Distribución espectral de la radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, siendo esta que se dispersa en múltiples direcciones mediante ondas electromagnéticas,



que generan reacciones en el hidrogeno que se encuentran en el núcleo del Sol mediante la fusión nuclear, y esta energía es el “motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima” (IDEAM, 2023). La IDEAM (2023) también explica que:

La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como: estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación sanguínea; actúa en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimula la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico (IDEAM, 2023).

2.2.1.3. Irradiancia y constante solar

Según Cutipa et al. (2020) la irradianza solar es el efecto sobre una unidad de área de diferentes tipos de radiación electromagnética depende del largo, ancho y alto del área, área geográfica, condiciones climáticas y regulaciones climáticas estacionales. (Cutipa et al., 2020).

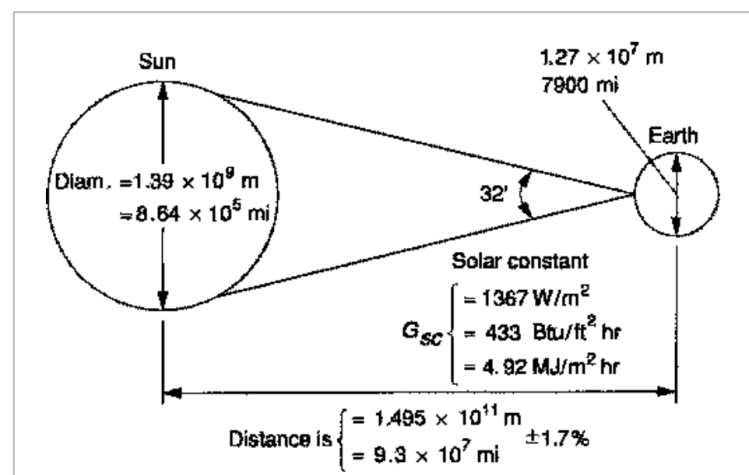
Lira y Guevara (2018) indica que la irradiancia se utiliza para describir el efecto incidente por unidad de área de varios tipos de radiación electromagnética. La irradiancia es la energía promedio que cae sobre la superficie por unidad de área por unidad de tiempo. Una unidad de medida es una unidad de radiación, que es W/m^2 (Lira y Guevara, 2018).

La siguiente figura muestra la relación geométrica entre el sol y la tierra. Según (Valdés et al., 2012) indica lo siguiente:

“...la excentricidad de la órbita terrestre es tal que la distancia entre el Sol y la Tierra varía en un 1,7%. A una distancia de una unidad astronómica, $1,495 \times 10^{11}$ m, la distancia media entre la Tierra y el Sol, que forma un ángulo de 32° . La radiación emitida por el sol y su relación espacial con la tierra dan como resultado una intensidad casi fija de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre. La constante solar G_{sc} es la energía del sol por unidad de tiempo recibida en una unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación a la distancia media tierra-sol fuera de la atmósfera” (Valdés et al., 2012)

Figura 1

Relación entre el Sol y la Tierra



Nota: tomado de (Corner, 2018)

Irradiancia, describe la cantidad de radiación solar que nos llega, expresada como potencia instantánea por unidad de área (Huaman, 2018), y su unidad de medida es W/m^2 , que es la tasa a la que la energía radiante incide sobre una superficie por unidad de superficie, siendo la potencia recibida por unidad de tiempo y por minuto de superficie. Su unidad es el Wh/m^2 (vatio x metro 2), en caso de un día, $\text{Wh/m}^2/\text{día}$ (Huaman, 2018). Según los primeros datos de la NASA, anteriormente se consideraba que

la constante solar era de 1.353 kW/m², pero actualmente el valor más aceptado es de 1.377 kW/m². (Baghzouz, 2011)

Irradiación o exposición radiante, J/m² es el proceso mediante el cual un objeto recibe energía en forma de radiación electromagnética o mediante partículas subatómicas. La insolación se encuentra estrechamente relacionada con la irradiación de energía solar. Según el Diccionario de la lengua española (RAE, 2024) esta se refiere a poner algo al sol para secarlo, o la exposición solar excesiva. En nuestro caso, nos referimos a la cantidad de energía solar que cualquier objeto en una superficie recibe en un día. La fórmula siguiente describe la relación entre la radiación solar o atmosférica; la masa de aire es un factor que describe la cantidad de atmósfera que la radiación solar atraviesa antes de llegar a la superficie de la Tierra.

$$m = \frac{\exp(-0.0001184h)}{\cos(\theta_z) + 0.5057(96.080 - \theta_z)^{-1.634}}$$

Donde h es la altitud del emplazamiento en metros (Corner, 2018). Se utiliza principalmente para medir modelos atmosféricos.

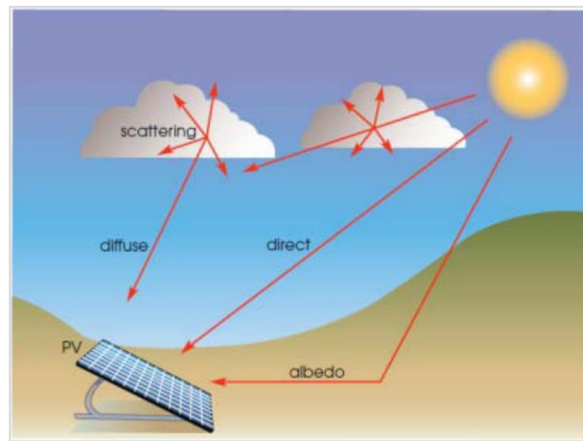
2.2.1.4. Componentes de la radiación

Para Martínez (2016) la radiación solar llega a la Tierra en forma de energía solar, con una longitud de onda que oscila entre 300 y 2.500 nm. La cantidad de energía recibida por nuestro planeta en un año es impresionante, alcanzando la cifra estratosférica de 5,46 x 10²⁴ vatios (W) (Chen y Chen, 2011).

La energía solar que llega, a la atmósfera terrestre se conoce como constante solar y tiene un valor de 1.366 W m^{-2} . Esta cantidad disminuye en un 30% al atravesar la atmósfera, lo que resulta en una radiación solar en la superficie terrestre de alrededor de 1.000 W m^{-2} en un día despejado a nivel del mar. (Lynn, 2010).

Figura 2

Componentes de la radiación global y su incidencia sobre un panel fotovoltaico (PV)

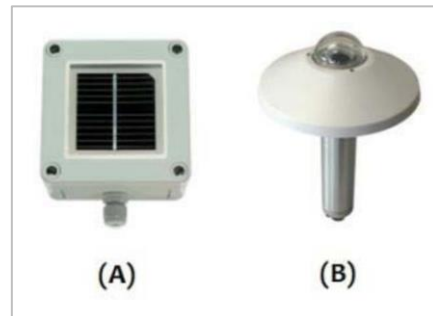


Nota: tomado de (Lynn, 2010)

La radiación solar se mide por varias finalidades, siendo esta esencial para una buena planificación, diseño e implementación de un plan de aplicación solar (e.g. fotovoltaico, solar térmico). Para la medición de la radiación solar existen gran cantidad de instrumentos, siendo las celdas fotovoltaicas y los piranómetros los instrumentos más comunes.

Figura 3

Instrumentos utilizados para la medición de la radiación solar



Nota: tomado de (Lynn, 2010). (A) Celda fotovoltaica, (B) Piranómetro

Los piranómetros absorben la radiación solar haciendo uso de termocuplas que transforman el calor en voltaje eléctrico proporcional a la radiación. La celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte la luz solar en electricidad, es una pequeña oblea de silicio conectada a una resistencia, esta resistencia produce una corriente proporcional a la radiación. (Schmidt R. et al., 2016)

2.2.1.5. Masa de aire

La masa de aire (m) se refiere a la cantidad de atmósfera a través de la cual pasa la radiación solar en comparación con la cantidad que atravesaría si el sol estuviera directamente sobre nosotros. Así, a nivel del mar $m=1$ cuando el sol está en el zenith y $m = 2$ para un ángulo cenital θ_z de 60° . Para ángulos cenitales entre 0° y 70° a nivel del mar, en una aproximación, cercana,

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z}$$



Para ángulos cenitales más altos, el efecto de la curvatura de la Tierra se vuelve significativo y debe tenerse presente. Para un análisis más completo de la masa de aire, véase Robinson (1966), Kondratyev (1969) o Garg (1982) citado en (Corner, 2018).

La masa de aire es un gran cuerpo de aire que se mueve a través de la troposfera llevando consigo ciertas características, las cuales varían dependiendo en su mayoría de la región donde se originó (Clima Argentina, 2023).

Barry & Chorley (1999) define una masa de aire como un volumen de aire con propiedades físicas tanto de temperatura como con humedad y que permanecen relativamente constantes en cientos de kilómetros cuadrados (Barry & Chorley, 1999), y adquieren estas particularidades al ponerse en contacto con la superficie en las regiones que puede recorrer.

2.2.1.6. Producción de energía

La energía solar es una de las principales fuentes de energía renovable que se encuentran disponibles directamente del sol, en muchas partes del planeta la energía solar es una de las más utilizadas como tecnología renovable y con mayor desarrollo. La energía solar la fuente de energía limpia y sostenible que no produce ningún tipo de emisión de gases de efecto invernadero. Existen múltiples formas de producción de energía eléctrica, siendo las más utilizadas las que se generan mediante productos no renovables. La energía solar se produce a través de dos procesos principales: solar fotovoltaica y termo solar.



- **Energía Fotovoltaica**

Utiliza paneles solares para transformar directamente la radiación solar en electricidad (Espejo y Aparicio, 2020).

- Células fotovoltaicas: Estas células, formadas por láminas metálicas semiconductoras, capturan los rayos solares. Están recubiertas de un vidrio transparente que minimiza las pérdidas de calor.
- Generación de electricidad: Los rayos solares, compuestos por fotones, llegan a las células fotovoltaicas. Estas convierten la luz solar en electricidad en forma de corriente continua con una graduación entre 380 y 800 voltios.
- Inversor: Para mejorar el resultado, se utiliza un inversor que transforma esta energía en corriente alterna, la que utilizamos en nuestros hogares.
- Contador y red eléctrica: Finalmente, esta corriente alterna pasa por un contador y se suministra a la red general de electricidad.

La energía solar producida se utiliza para generar electricidad, calentar agua y aire, mediante sistemas de colectores solares que capturan el calor del sol para uso doméstico o industrial y/o para proporcionar iluminación en casas y edificios.

Claramente se puede observar una mejora marcada en el uso de técnicas de fabricación de los sistemas solares fotovoltaicos, haciendo uso de estructuras de fijación en superficies planas u en otras como en techos inclinados, todas se basan en la orientación de los paneles y en la mejora

de los inversores solares para convertirlos en potencia, son los elementos que mas se han desarrollado en esta última década. A continuación, se muestra los principales fabricantes de módulos fotovoltaicos en el mundo en la siguiente tabla.

Tabla 1

Principales fabricantes de módulos fotovoltaicos en el mundo. 2018

Empresa	País	Entrevas (MW)
Jinko Solar	China	11.38
JA Solar	China	8.8
Trina Solar	China	8.1
LONGi Solar	China	7.2
Canadian Solar	China	6.6
Hanwha Q-Cells	China	5.6
RisenEnergy	China	4.8
GCL-SI	China	4.1
Telesun	China	2.9
First Solar	Estados Unidos	2.706

Nota. EurObserv'ER. BaromètrePhotovoltaïque 2019, Tomado de (Espejo-Marín & Aparicio-Guerrero, 2020, p.25)

Para el cálculo de la energía solar se deben considerar el consumo energético en kWh consumidos anualmente, discriminando lo mas que se pueda del consumo durante las horas de sol, la superficie disponible para ubicar los paneles solares, verificando que esta superficie no se encuentre bajo una zona de sombra y mejorar la producción solar; determinar la orientación e inclinación, debido a que el sol según su movimiento, este cambia de acuerdo a las horas del día y según la estación (SotySolar, 2020).

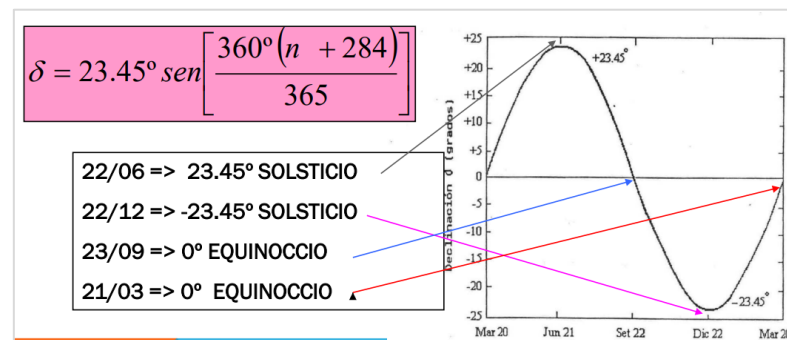
2.2.2. Conceptos elementales de astronomía de posición solar

2.2.2.1. Declinación solar

Para comprender mejor el declive solar, primero debemos comprender las características de la órbita de la Tierra y el Sol. La Tierra y el Sol forman un plano ecuatorial de la Tierra y una línea que une los centros del Sol y la Tierra, que están en constante cambio. La declinación solar (*declinación solar* δ_s) es el ángulo entre los equinoccios de primavera y otoño, con un valor de aproximadamente 23.5° en el solsticio de verano y de aproximadamente -23.5° en el solsticio de invierno (Moreno, 2022).

Tabla 2

Formula de la, declinación solar, ángulo que forma el vector tierra-sol y el plano ecuatorial



Nota: tomado de <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/introduccion-a-la-geometria-solar.pdf>

La declinación solar tal como se establece, puede ser calculada sobre una base de diferentes aproximaciones y fórmulas, cada una de las cuales proporciona este valor con diferentes valores y niveles de precisión informados por los autores. Sin embargo, en la mayoría de los casos

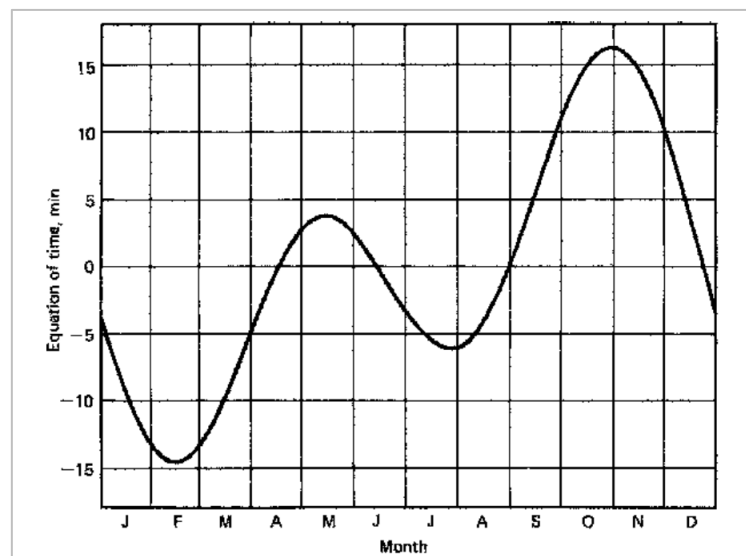
empleamos una de las más influyentes en la literatura, al respecto de esta variable ofrecida por Spencer (1971). La fórmula es la siguiente:

$$\begin{aligned}\delta_s = & 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0.0070257 \cdot \text{sen}(\Gamma) \\ & - 0.006758 \cdot \cos(2\Gamma) + 0.000907 \cdot \text{sen}(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \cdot \cos(3\Gamma) + 0.00148 \cdot \text{sen}(3\Gamma)\end{aligned}$$

Donde Γ es denominado ángulo horario, y viene dado por: $\Gamma = \frac{2\pi \cdot (d_n - 1)}{365}$, donde d_n corresponde al número del día juliana del año ($1 \leq d_n \leq 365$) variando desde 1 para el 1 de enero hasta 365 al 31 de diciembre (Spencer, 1971).

Figura 4

Ecuación del tiempo en min



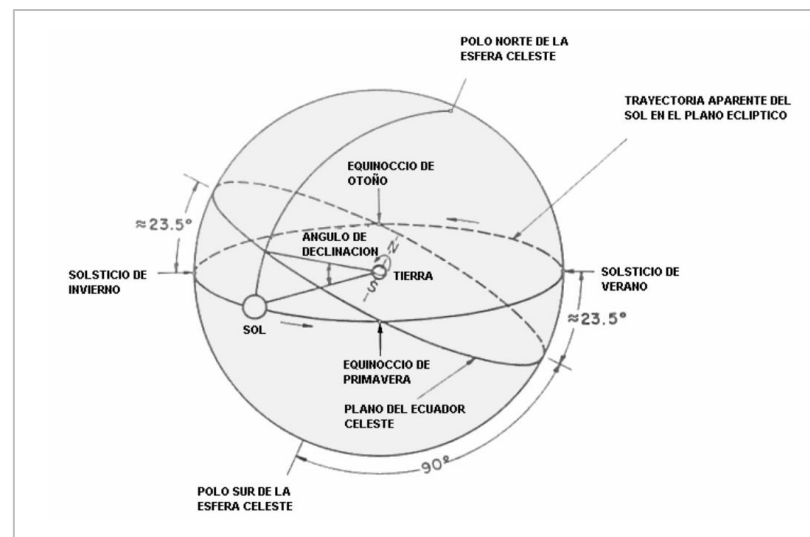
Nota. Tomado de (Corner, 2018)

Según Vera (2005) una de las formas de representar la declinación del sol es formar una esfera celeste con la tierra en el centro y el sol girando alrededor de la tierra tal como se muestra en la figura 7. Vera también explica lo siguiente: “Los polos celestes son los puntos en los cuales el eje

polar de la Tierra corta a la esfera celeste. El ecuador celeste es una proyección del plano ecuatorial terrestre sobre la esfera celeste. La intersección del plano ecuatorial terrestre con el plano elíptico de revolución del Sol, forman un pseudo círculo inclinado en la esfera celeste en aproximadamente 23.5° y el ángulo entre el plano que incluye el ecuador celeste y la Línea Sol-Tierra horaria en cualquier instante representa el ángulo de declinación.” (Vera, 2005).

Figura 5

Esfera celeste mostrando el movimiento aparente del sol y el ángulo de declinación solar



Nota: tomado de (Vera, 2005)

Presentamos dos fórmulas simples comúnmente usadas para determinar la declinación (en grados), como son la fórmula de Perrin de Brichambaut (1975).

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ 0.4 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n - 82) \right] \right\}$$



También la fórmula de Cooper (1969) con una aproximación más sencilla:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right]$$

Estas dos ecuaciones son bastante precisas, sin embargo, si lo que se busca es una gran precisión es recomendable usar fórmula (3) descrita por Spencer (1971) en su artículo (Vera, 2005).

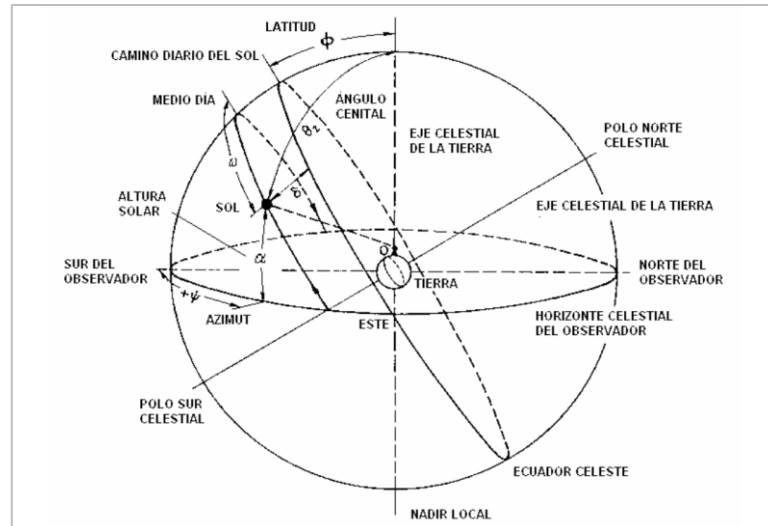
2.2.2.2. Posición del sol respecto a un punto de la tierra

Para calcular la radiación solar esta utiliza una relación triangular entre la posición del sol con respecto a la tierra con respecto a las coordenadas ecuatoriales. El punto diagonalmente opuesto al cenit local es llamado “*nadir*”; tal como lo mira una persona, en el horizonte de la vista del observador, es una enorme esfera cuyo centro de la tierra esta atravesado por una línea que une el centro de la tierra con el cenit del observador.

El cenit θ_z es el ángulo entre el cenit local y la línea de un observador con el sol, a este ángulo que varia entre 0° y 90° .

Figura 6

Esfera celestrial y coordenadas, del sol relativas, a un observador, ubicado sobre la tierra en el punto 0



Nota: tomado de (Vera, 2005)

En una ubicación geográfica determinada, en ausencia de atmósfera terrestre, la relación triangular entre el Sol y el plano horizontal es bien conocida. Esta es como sigue:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \sin \alpha$$

y

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \sin \phi + \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi}$$

con

$$0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ \text{ y } \cos \psi \geq 0$$

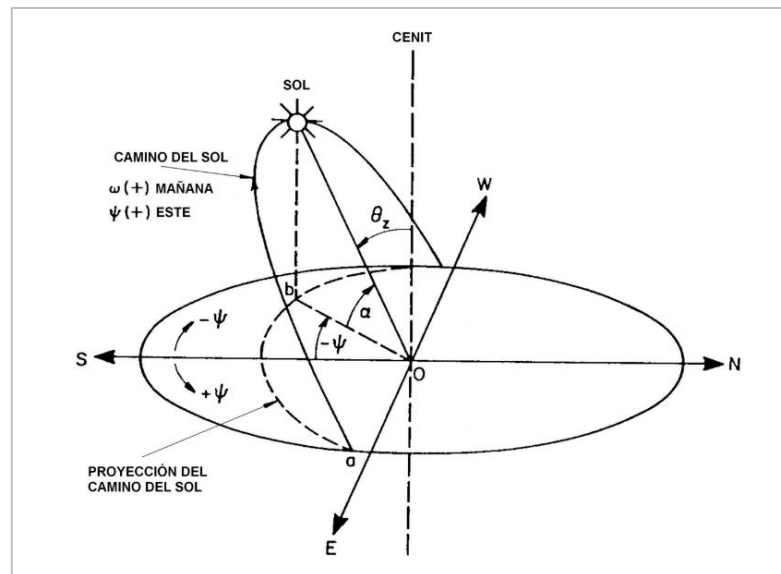
$$90^\circ \leq \psi \leq 180^\circ \text{ y } \cos \psi \leq 0$$

Las definiciones y convenciones de signo son resumidas a continuación:

- θ_z es el ángulo cenital, en grados;
- α es la altura solar, también llamada elevación solar, en grados;
$$\alpha = 90 - \theta_z$$
- ψ es el ángulo horario, igual a cero a mediodía y positivo en la mañana:
- ϕ es la latitud geográfica, en grados, norte positivo;
- ω es el azimut local, en grados, sur cero, este positivo (ver la Figura 10.5 para una mejor descripción de este ángulo); y
- δ es la declinación solar, la posición angular del sol respecto al plano ecuatorial, note positivo, en grados.

Figura 7

Angulo cenital del Sol, altura solar y el Azimut



Nota: tomado de (Vera, 2005)

Por otra parte, la refracción de la atmósfera presentara una influencia sobre la altura solar, por lo cual es ligeramente menor a la altura calculada. La diferencia varía entre 0' minutos en el cenit hasta llegar a los 34' minutos en el lado horizontal. Otros elementos que



influyen son la temperatura y la presión atmosférica, la cual se describe en los almanaques para θ_z entre 80° y 90° , donde el efecto es máximo. La ecuación (6) puede ser resuelta para el ángulo horario a la salida del sol ω_s . Con $\theta_z = 90^\circ$ que resulta en:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

La duración del día es $2\omega_s$, y cuando se expresa en horas tiene la siguiente forma:

$$N_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

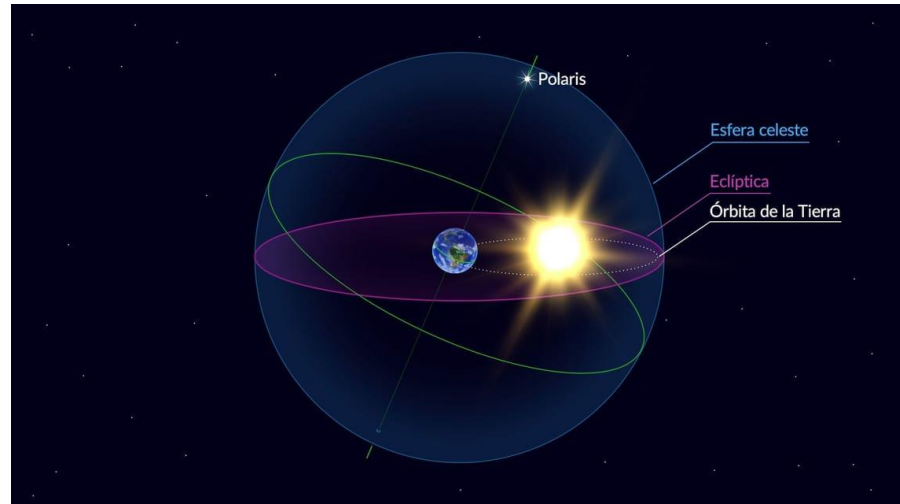
2.2.2.3. Trayectoria aparente del Sol

Es importante conocer la posición de la tierra con respecto al sol y la incidencia de la radiación según los ángulos que esta presenta en las líneas ecuatoriales y las líneas de 40° , en diferentes latitudes y cómo se comportan las estaciones del año para la agricultura. Los profesionales están obligados a medir los ciclos de intensidad solar para orientar los paneles solares y utilizar la potencia del sol teniendo en cuenta el movimiento solar.

La tierra se traslada alrededor del sol en una elipse, formando un plano perpendicular al momento angular de la tierra el cual se denomina eclíptica, que en nuestro argot es un término astronómico que permite verificar el movimiento de la tierra alrededor del sol y tal como se observa en la división imaginaria que se forma entre la tierra y el sol como un plano.

Figura 8

La eclíptica es el círculo en el que el plano orbital de la Tierra cruza la esfera celeste



Nota: tomado de Vito Technology, Inc. <https://starwalk.space/es/news/what-is-the-ecliptic>

El eje terrestre está inclinado 23.45° respecto a la eclíptica (Benoit y Beckers, 2007) donde los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie de la tierra en los solsticios. La tierra se mueve en su órbita alrededor del sol en sentido antihorario, con base en su eje sur norte. La posición del sol es dada por su posición angular sobre la trayectoria supuesta circular y esta puede relacionarse con los días al establecer la equivalencia entre el año y un círculo de 360° (Benoit y Beckers, 2007). Esta puede definirse con la siguiente fórmula:

$$i = \left(\frac{d}{365.25} \right) 360^\circ - 90^\circ$$

De la forma en que vivimos, la necesidad de ahorrar energía y de utilizar fuentes renovables y dejar de usar fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles, haciendo uso de la energía renovable. El sol es la

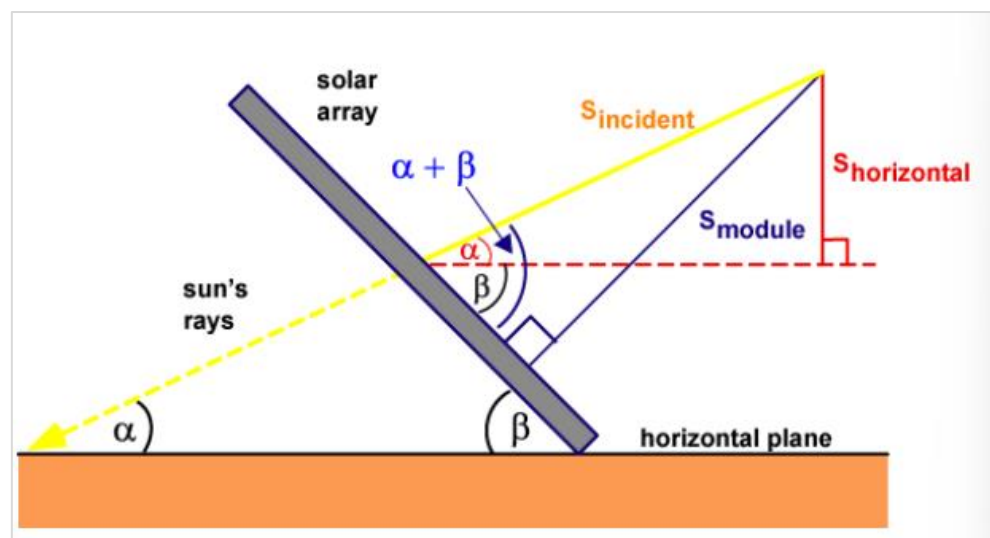
2.2.2.4. Determinación de incidencia solar sobre la superficie

Este elemento se refiere al ángulo de inclinación del panel, debido a que un módulo fotovoltaico no solo depende de la potencia de la luz solar, sino que la posición y el ángulo tienen implicaciones muy fuertes.

Tal como lo indica Fiallos (2020) como el ángulo entre el sol y la superficie del panel fotovoltaico está en constante movimiento y cambia continuamente, la densidad de potencia en el módulo fijo es menor que la luz solar incidente. La cantidad de radiación sobre la superficie inclinada en el módulo, debe ser perpendicular a la superficie del módulo.

Figura 10

Inclinar el módulo a la luz entrante reduce la salida del módulo



Nota: tomado de (pveducation, 2024)

El Perú se encuentra ubicado por debajo de la línea ecuatorial, por lo que los paneles solares deben estar orientados hacia el norte y los ángulos óptimos se encuentran entre los 10° Y 30° . Para la ubicación correcta de un panel fotovoltaico, se recomienda que los paneles siempre

deben apuntar hacia el ecuador, por lo que el Perú se encuentra dentro del hemisferio sur, es decir, dentro de la zona inferior de la línea ecuatorial.

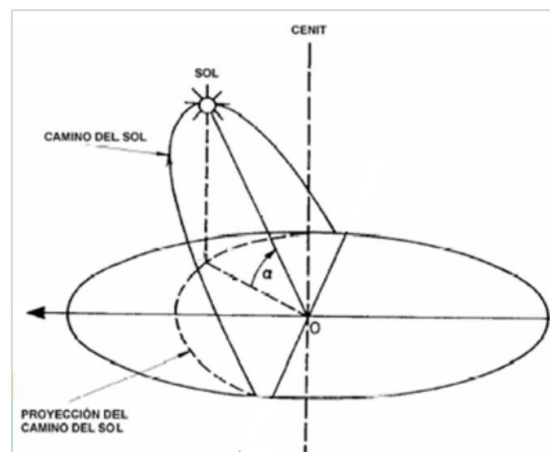
2.2.2.5. Ángulo de altitud del Sol al mediodía solar

La altitud solar (α) es una medida que sirve para medir la distancia angular desde del horizonte. El ángulo de incidencia es de 90° cuando el sol se encuentra en el punto más alto de su trayectoria (mediodía solar). Este ángulo depende de varios factores, principalmente de la latitud del lugar y la declinación solar (que varía a lo largo del año) (Gardey, 2013). En el equinoccio (cuando la declinación solar es 0), el ángulo de altitud del sol al mediodía solar es simplemente:

$$\text{Altitud del sol} = 90^\circ - |\text{Latitud}|$$

Figura 11

Altura solar entre 0° y 90°



Nota: tomado de <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/introduccion-a-la-geometria-solar.pdf>

La ley del coseno de Lambert establece que la máxima intensidad de radiación sobre una superficie se puede alcanzar cuando un haz de luz incide verticalmente sobre la superficie. Si la frecuencia no es



perpendicular, parte de la radiación se "pierde" por fenómenos de reflexión y por tanto se reduce la intensidad.

$$I_s = I \cos \alpha$$

Esta ley se aplica sólo a superficies emisoras o difusoras, donde no importa desde qué ángulo se observen, siempre dan la misma sensación de brillo.

Donde:

I_s = es la intensidad según el ángulo de observación en.

I = es la intensidad según la normal en.

α = es el ángulo de incidencia

Para calcular la radiación a través de la atmosfera clara, donde se observa que en el ángulo cenit y la altitud dentro de una atmosfera estañar, esta genera cuatro tipos de climas: tropical, verano en latitudes medias, verano sub-ártico e invierno en latitud media (Garcia y Rubiano, 2015). El coeficiente de transmisión de radiación solar está dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_b = a_0 + a_1 * e^{\frac{-k}{\cos(\theta_z)}}$$

Las constantes a_0 , a_1 y k de la atmosfera estándar con 23 Km de visibilidad son encontradas en las siguientes ecuaciones:

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2$$

$$a_1 = 0.5051 - 0.0059 (6.5 - A)^2$$

$$k = 0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2$$



Donde:

A: Altitud del observador en kilómetros (García & Rubiano, 2015)

2.2.3. Celdas y módulos fotovoltaicos

2.2.3.1. Física básica del semiconductor

Los semiconductores utilizados para la fabricación de los módulos fotovoltaicos están fabricados principalmente de silicio (Si) y de germanio (Ge), siendo estos materiales encontrados en gran cantidad en nuestro planeta. También se pueden fabricar semiconductores a partir de azufre (S), Boro (B) o cadmio (Cd) (Repsol, 2023).

Tal como lo explica Peula et al. (2014) que indica que estos se encuentran formados por átomos del grupo IV de la tabla periódica (Silicio y Germanio), poseen una Banda prohibida, B_g , muy estrecha. Tanto el Silicio como el Germanio son portadores de carga de partículas que permiten el transporte de la corriente eléctrica. Existe dos tipos principales portadores que son los electrones con partículas de carga negativa y que en los semiconductores, los electrones pueden ser promovidos desde la banda de valencia a la banda de conducción, creando de esta manera un electro libre; también se encuentran los huecos que se consiguen al añadir impurezas trivalentes como boro o galio al semiconductor, lo que a la larga incremento a aumenta la cantidad de huecos disponibles en estos semiconductores. Aparecen dos tipos de portadores de carga: e^- en BC y h^+ en BV.

Silicio (si, $z = 14$) $3s^2p^2$

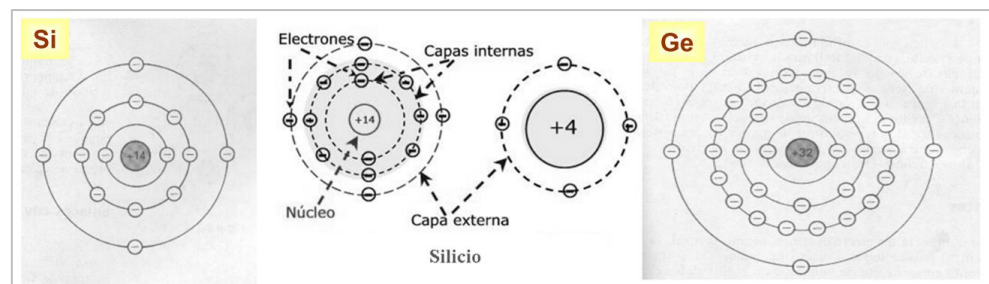
El átomo de Silicio tiene 14 protones y 14 electrones. La configuración electrónica de la última capa (capa de valencia) es de la forma s^2p^2

Germanio (ge, $z=32$) $4s^2p^2$

El átomo de Germanio: tiene 32 protones y 32 electrones. La configuración electrónica de la última capa (capa de valencia) es de la valencia.

Figura 12

Configuración electrónica del Si y Ge



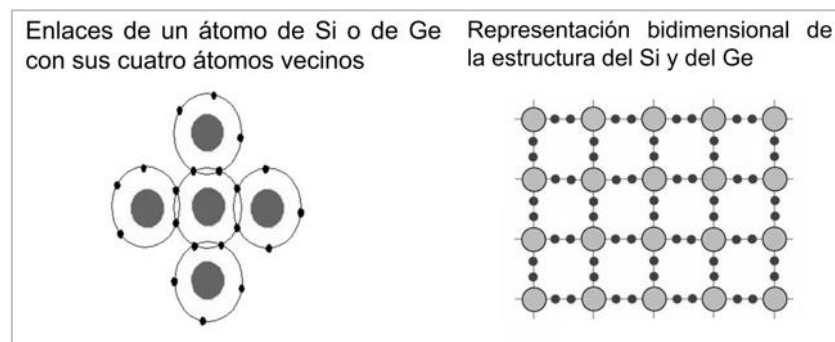
Nota: tomado de (Peula et al., 2014)

Según Peula et al. (2014) explica:

“En un cristal puro de silicio o de germanio, los átomos están unidos entre sí formando una estructura cristalina que consiste en una repetición regular en tres dimensiones de una celdilla unidad que tiene la forma de tetraedro con un átomo en cada vértice. Al no tener los electrones libertad de movimiento, a bajas temperaturas y en estado cristalino puro, el material actúa como aislante (Peula et al., 2014)”

Figura 13

Redes cristalinas de Si y Ge



Nota: tomado de (Peula et al., 2014)

Se conoce que la conductividad que presenta el silicio se incrementa agregando una pequeña cantidad de átomos pentavalentes (antimonio, fósforo o arsénico) del orden de 1 a 108 por lo general, o en su defecto se agregan trivalentes como el boro, galio o indio, que ayudan a la mejora de la conductividad, y a este proceso se le conoce como “dopaje” debido a que el semiconductor resultante se le puede denominar como semiconductor dopado o semiconductor extrínsecos (Numai y Numai, 2015).

2.2.3.2. Principio de trabajo de una célula solar

Este principio se conoce como el funcionamiento que ofrecen las células solares y que se basa en el efecto fotovoltaico producido por la irradiación, que es el resultado de la “generación de una diferencia potencial en la unión de dos materiales diferentes en respuesta a la radiación electromagnética” (Benavides y Ramirez, 1991).

a) Efecto fotoeléctrico

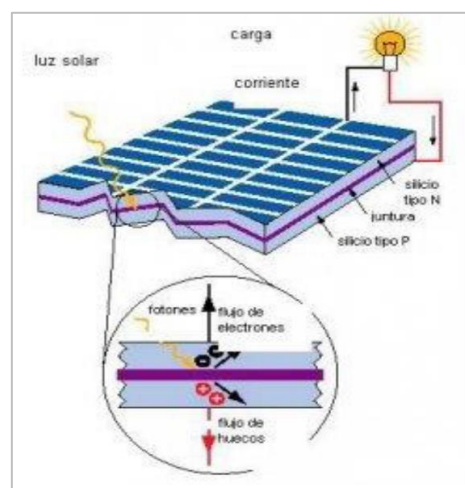
Según Rodríguez y Cervantes (2006) el efecto fotoeléctrico se puede entender de la siguiente manera:

“Si iluminamos una superficie metálica con un haz luminoso de frecuencia apropiada (por ejemplo, se ilumina sodio con luz a una frecuencia de 6×10^{14} /seg) se emiten electrones de la superficie. Esta emisión de electrones desde la superficie por la acción de la luz se denomina *efecto fotoeléctrico*” (Rodríguez y Cervantes, 2006)

Podemos indicar algunas propiedades añadidas que presentan algunos de estos materiales que conforman la celda solar, con la finalidad de para absorber los fotones de luz y emitir electrones (Huaman, 2018), y que se lleva a cabo cuando los rayos solares (fotones) inciden sobre la superficie del paneles solares fotovoltaicos, que presentan delgadas láminas de silicio P y N separados por un semiconductor, que al entrar en contacto con estas partículas de luz en la superficie de la capa P, esta provoca una reacción, liberando electrones de los átomos de silicio que están en movimiento y pasan a través del semiconductor hasta la capa N.

Figura 14

Efecto fotoeléctrico



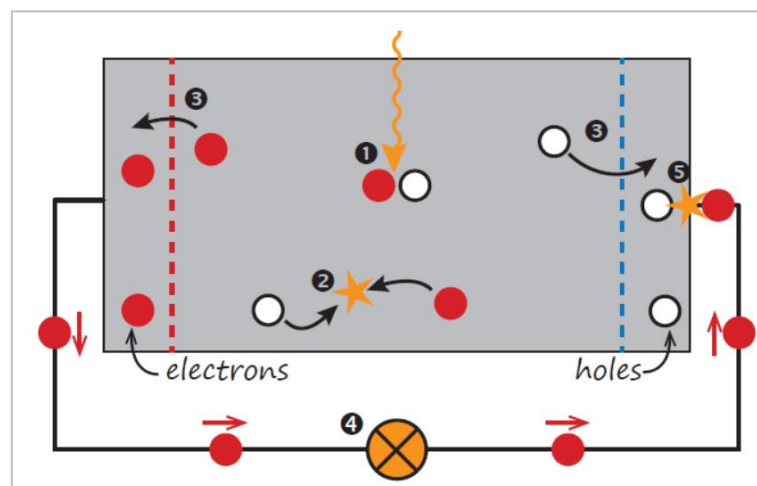
Nota: tomado de (Huaman, 2018)

Huaman (2018) también indica como se puede dividir los siguientes procesos básico mediante la siguiente lista:

- La absorción de un fotón conduce a la generación de un par electrón-agujero.
- Por lo general, los electrones y agujeros se combinan.
- Con las membranas semipermeables los electrones y los agujeros se pueden separar.
- Los electrones separados pueden usarse para conducir un circuito eléctrico.
- Después de que los electrones pasen por el circuito, se recombinarán con agujeros.

Figura 15

Un modelo de células solares y sus procesos básicos



Nota: tomado de (Huaman, 2018)

b) Dopaje

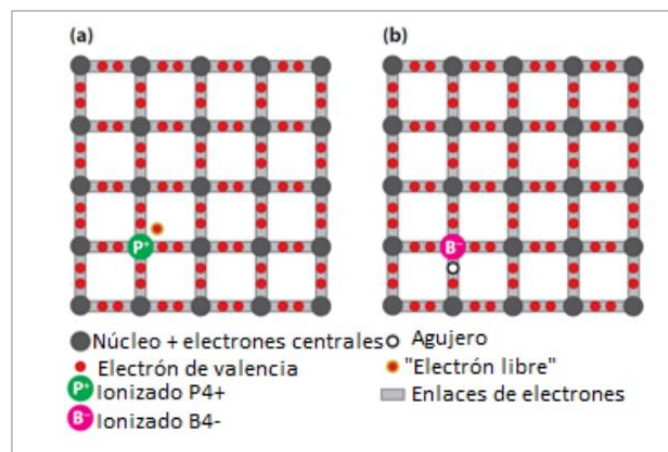
El dopaje de silicio se refiere a átomos de otros elementos que reemplazan a los átomos de silicio en la red cristalina, y esta red se realiza mediante átomos con 3 o 5 electrones de valencia, respectivamente. Los

elementos utilizados para dopar el silicio son el boro (B) y el fósforo (P) con números atómicos 5 y 15.

Según Cintas (2014) El dopaje de semiconductores se realiza añadiendo impurezas a la red cristalina del semiconductor original para cambiar sus propiedades eléctricas y se aplica primero al silicio natural.

Figura 16

El proceso de dopaje de Silicio



Nota: tomado de (Huaman, 2018)

Los átomos donantes se ionizan positivamente y los átomos receptores se ionizan negativamente.

2.2.3.3. Célula fotovoltaica genérica

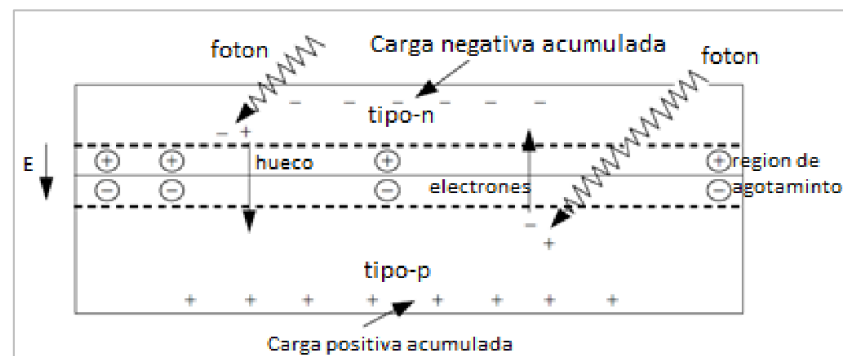
Las células fotovoltaicas (o celdas fotovoltaicas, también llamadas celulares solares) tiene su “origen en el año 1839 y fueron un descubrimiento realizado por Alexandre-Edmon Becquerel, un físico de origen francés que se dedicó al estudio del espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica, entre otras cosas” (ATERSA, 2023), siendo estos mecanismos o dispositivos eléctricos que consiguen transformar la energía lumínica en energía eléctrica. El principal componente de las

celdas fotovoltaicas son los semiconductores por lo general hechos de silicio.

Se entiende por célula fotovoltaica a la unión $p-n$ cuando está expuesta a la luz solar. Tal como lo explica (Huaman, 2018) a medida que los fotones son absorbidos, estos forman pares de agujeros-electrones; el campo eléctrico en la región de agotamiento empujara los orificios en el lado p y empujara a los electrones hacia el lado n . El lado p acumula agujeros y el lado n acumula electrones, generando voltaje, que se puede utilizar para suministrar carga (Huaman, 2018).

Figura 17

Figura de la célula fotovoltaica



Nota: cuando los fotones crean pares de agujeros-electrones cerca de la unión, el campo eléctrico en la región de agotamiento barre los agujeros en el lado p y barre los electrones hacia el lado n de la célula (Huaman, 2018).

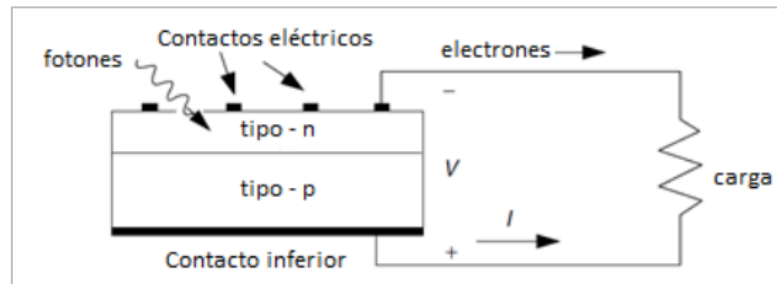
Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas como: las *Celdas fotovoltaicas de silicio cristalino*, que tienen un precio elevado con respecto a otro tipo de celdas fotovoltaicas y por lo que su uso suele ser menos habitual. Su rendimiento es mayor y por lo tanto se aumenta su relación Wp/m^2 ; y las *Celdas fotovoltaicas de silicio multicristalino*, que se caracteriza por presentar un buen rendimiento, aunque ligeramente más bajo que las celdas de silicio cristalino, sobre todo en condiciones de

iluminación baja. Sin embargo, este tipo de celdas son más económicas que las anteriores y su eficiencia de conversión sigue siendo buena, gracias a los múltiples avances que ha sufrido este tipo de célula en los últimos años (ATERSA, 2023).

Si conectan los contactos eléctricos en la parte superior e inferior de la celda, los electrones fluirán del lado n hacia el cable, a través de la carga y de vuelta al lado p; cuando alcanza el lado p, se combinan los agujeros que completan el circuito, por lo que la flecha de corriente se muestra en la siguiente figura.

Figura 18

Flujo de energía por los fotones p-n



Nota: los electrones fluyen desde el contacto n-lateral, a través de la carga, y de vuelta al lado p donde se recombinan con agujeros. La corriente convencional I está en la dirección opuesta (Huaman, 2018).

Los materiales para la construcción de celdas en silicio en forma cristalina como en multicristaliza, son usados en masa para la fabricación de celdas fotovoltaicas con los siguientes materiales: Arseniuro Galio (GaAs), Silicio Amorfo (a-Si), Telururo de Cadmio (CdTe) y Diseleniuro de Cobre Indio (CuInSe₂, o CIS); también otros sistemas en ópticos, para aumentar la eficiencia de la célula, como los concentradores y los reflectores.

2.2.3.4. Fundamentos teóricos del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están conformados por un mosaico de células solares y la unión de estos conforman los módulos fotovoltaicos o también conocidos como panel solar o placa solar.

Según Enel Green Power (2023) el panel solar es “el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible” (Enel Green Power, 2023). El material semiconductor con que esta recubierto por lo general es el Silicio, material básico y abundante en la tierra, básico para cada célula solar, debido a que es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar, gracias al fenómeno físico conocido como “efecto fotovoltaico”. Los módulos fotovoltaicos son compuestos por células fotovoltaicas individuales unidas entre si (Enel Green Power, 2023), con estructuras que soporten los módulos y dos terminales de salida por cada módulo, estos se encargan de recoger y trasferir la corriente generada.

Figura 19

Fotografía panel solar



Nota: tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico

2.2.3.5. Tipos de módulos fotovoltaicos

Podemos definir varios tipos de celdas y módulos fotovoltaicos, sin embargo, en esta investigación solo nos centraremos en los siguientes: celdas solares de tipo monocristalino y celdas solares de tipo policristalino

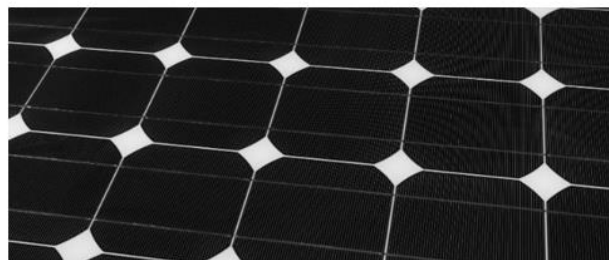
a) Celdas solares de tipo monocristalino

Estas celdas presentan una estructura cristalina ordenada, de color azul oscuro, casi negro, cuyo celular presentan bordes redondeados y están formados por cristales de silicio monocristalino (Enel Green Power, 2023). Con luz perpendicular garantizan una buena producción de energía, con una eficiente aproximadamente de un 18 a 21%.

Figura 20

Celda solar de tipo monocristalino

PANEL SOLAR
MONOCRISTALINO



Nota: tomado de <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>

Según Auto Solar (2023) estos paneles están “compuesto por células de un único cristal de silicio, tienen mayor eficiencia y rendimiento que el panel solar policristalino, lo que significa que generan más energía



con la misma cantidad de luz solar” (Auto Solar, 2023), además de tener la fama de más duradero que el policristalino, también ofrece una mayor resistencia a la sombra y el viento, requiriendo un menor mantenimiento de los equipos a largo plazo.

b) Celdas solares de tipo o policristalino

Estas células se componen de varias partículas cristalizadas de pequeño tamaño (Huaman, 2018) y está conformado por células de silicio cristalizadas. Entre sus principales ventajas tenemos que este tiene un precio más económico, sin embargo, ambos cumplen con su función. El silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración de energía que los procesos de separación de células monocristalinas, por lo que son materiales menos costosos, fabricados de forma cuadrada (Auto Solar, 2023).

Estos “módulos azules con tonos cambiantes compuestos por cristales de silicio orientados de manera no uniforme. Tienen una menor eficiencia (15-17 %) si reciben los rayos del sol perpendicularmente, pero su rendimiento es mayor a lo largo del día” (Enel Green Power, 2023).

Figura 21

Figura del panel solar policristalino



Nota: tomado de <https://acortar.link/NVQGLM>

Podemos mencionar algunas de sus principales características, como ya se mencionó este es más económico, debido al proceso de producción de estos cristales, estas presentan un aspecto variado, en comparación con los monocristalinos, debido a la presencia de múltiples cristales, la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad es un poco menor que los del silicio monocristalinos, pero sigue siendo aceptable. El panel solar policristalino es más fácil de moldear y procesar, siendo más versátil en su aplicación y fabricación, siendo esta también menor estable que un panel monocristalino, ya que son más susceptibles a la degradación y la oxidación, por la presencia de múltiples cristales.

Figura 22

Panel solar 100W 12V policristalino



Nota: tomado de <https://autosolar.es/panel-solar-12-voltios/placa-solar-100w-12v-policristalino>

Como consideraciones finales podemos recomendar lo siguiente:

La instalación de un panel solar monocristalino se recomienda para climas fríos con tendencia a tormentas y niebla, debido a que las placas solares tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento.

Para el panel solar policristalino, este se recomienda para climas cálidos, debido a que absorbe el calor a una mayor velocidad y el sobrecalentamiento no le afecta demasiado.

Tabla 3*Tabla de las Características físicas de los módulos*

Tecnología	Tipo de célula	Dimensión de la célula (mm)	Número de células	Longitud Panel (mm)	Anchura a panel (mm)
Monocristalino 100 w	Monocristalino	156 x 156	36	1200	540
Policristalino 100 w	Policristalino	156 x 156	36	1200	540

Nota: esta tabla muestra las características de los módulos

Tabla 4*Tabla de las características eléctricas de los módulos*

Tecnología	Isc (A)	Imp (A)	Voc (A)	Vmp (A)	Pmax (A)
Monocristalino 100 w	6.18	5.62	21.6	17.8	100
Policristalino 100 w	6.17	5.61	21.6	17.8	100

Nota: donde el subíndice “Pmax” significa punto de máxima potencia (en inglés

“maximum power point), el subíndice “Voc” significa voltaje de circuito abierto (en inglés “Open circuito voltaje”), el subíndice “Isc” significa corriente circuito cerrado (en inglés “Short circuit current”)

2.2.3.6. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos, que convierten la energía solar en electricidad, tienen una variedad de aplicaciones en diferentes sectores. Aquí hay algunas de las aplicaciones más comunes de los sistemas fotovoltaicos:

- Generación de Energía Eléctrica Residencial
- Generación de Energía Comercial e Industrial
- Iluminación Solar
- Sistemas de Bombeo Solar
- Electrificación Rural



- Vehículos Eléctricos
- Sistemas de Almacenamiento de Energía
- Carga de Dispositivos Móviles
- Parques Solares y Granjas Solares
- Satélites y Espacio
- Electrificación de Infraestructuras Críticas
- Carga de Estaciones de Recarga para Vehículos Eléctricos

Todas estas aplicaciones y otras más, destacan la versatilidad de los sistemas fotovoltaicos en la generación de energía limpia y sostenible en una variedad de contextos.

2.2.3.7. Inclinación óptima para módulos en sistemas fijos

En cuanto a la inclinación de las placas solares óptimas, hablamos de unos 15° de inclinación aproximadamente para una eficiencia adecuada de la instalación (Romel, 2022). Para contar con una orientación de los paneles solares, es necesario orientar correctamente los paneles, dependiendo de la estación del año.

2.2.4. Sistemas fijos

Los sistemas fotovoltaicos fijos son instalaciones solares en las que los paneles solares están montados en una posición fija y no se mueven para seguir el sol a lo largo del día. Estos sistemas están diseñados para maximizar la captación de energía solar en una posición óptima predefinida (Elahi Gol y Ščasný, 2023). A continuación, se detallan algunos aspectos clave de los sistemas fotovoltaicos fijos:



Orientación y ángulo: La orientación y el ángulo de los paneles solares son críticos para maximizar la captación de luz solar. Generalmente, en el hemisferio norte, los paneles se orientan hacia el sur y se inclinan a un ángulo equivalente a la latitud del lugar.

Estructuras de montaje: Los paneles se montan en estructuras fijas, que pueden ser instaladas en techos, en el suelo, o sobre estructuras elevadas, dependiendo del espacio disponible y la aplicación específica.

2.2.5. Condiciones climáticas y geográficas de la ciudad de Puno

Puno, situada en el sureste de Perú junto al lago Titicaca, se encuentra a una altitud de 3.827 metros sobre el nivel del mar, lo que le proporciona un clima de alta montaña con características frías y secas. Según SENAMHI Las temperaturas en Puno son relativamente constantes a lo largo del año, con mínimas que pueden llegar a -5°C en las noches más frías y máximas que rondan los 15°C durante el día. La ciudad cuenta con dos estaciones claramente diferenciadas: una temporada de lluvias de noviembre a marzo, con importantes precipitaciones, y una temporada seca de abril a octubre, marcada por cielos despejados y baja humedad. La gran altitud de Puno favorece una mayor radiación solar debido a la menor atenuación atmosférica, resultando en un promedio diario de radiación solar de 5.5 a 6.0 kWh/m². Estas condiciones climáticas y geográficas son especialmente adecuadas para el rendimiento de sistemas fotovoltaicos, ya que la alta radiación solar puede incrementar la eficiencia y la producción de energía de los paneles solares instalados en la región.



2.2.6. Impacto de las condiciones ambiental en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos

Las condiciones ambientales influyen considerablemente en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Factores como las fluctuaciones de temperatura, los niveles de humedad, la acumulación de polvo y los aerosoles provenientes de la neblina y emisiones industriales pueden disminuir la eficiencia y la producción de energía de estos sistemas. Las altas temperaturas reducen la eficiencia de las células, mientras que el polvo y la neblina pueden disminuir los niveles de irradiación hasta en un 80%, afectando la producción total (Shaik et al., 2023).

Así mismo, los estudios sugieren que un incremento de 5 °C en la temperatura puede resultar en una reducción del 2% en la generación de energía, mientras que un aumento de 20 °C puede ocasionar una disminución significativa del 10,4% en la producción de energía.

2.2.7. Fundamento teórico de una adquisición de datos (SAD)

Un sistema de adquisición de datos (SAD) es un conjunto de elementos organizados, capaz de centralizar una o varias señales analógicas correspondientes a diversas magnitudes físicas y digitalizarlas accesibles con un procesador digital (Bragús y Areny, 1992)

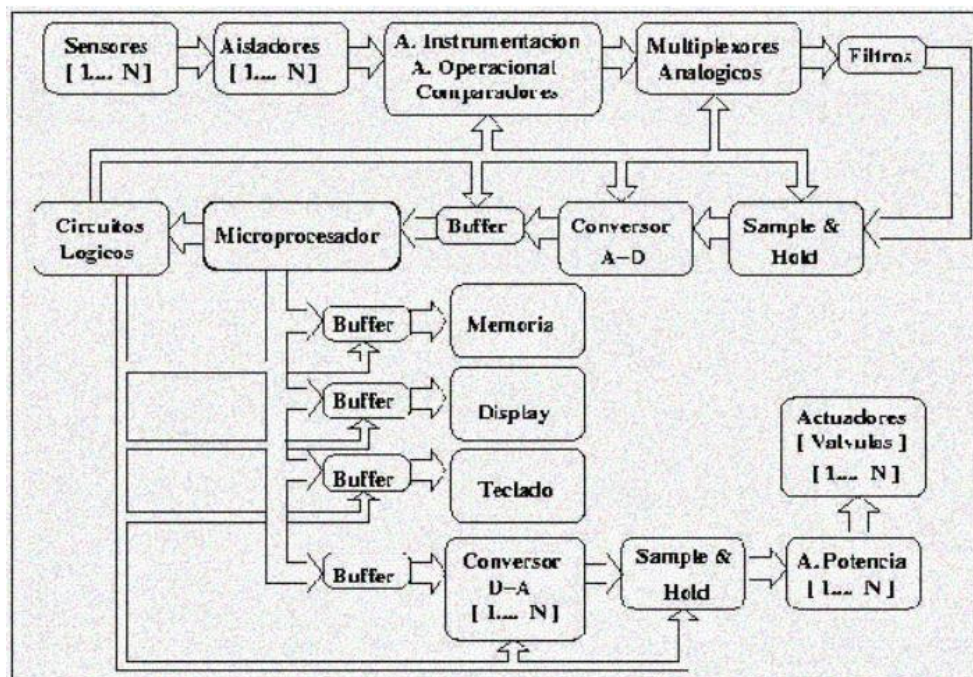
Estos sistemas de adquisición de datos integrados en un circuito, siendo los parámetros más importantes sus características de entradas, salida, transferencia, control o generales. Dentro de los componentes podemos mencionar a los: sensores, Amplificadores operacionales, Amplificadores de

instrumentación, Aislamiento, Multiplexores analógicos, Circuitos Sample and Hold, Muestreo de señal, Convertidores D/A y Convertidores A/D

Microprocesadores, Filtros, Comparadores, Fuentes de potencia, Adquisición de datos con la PC, Guía de Puertos serial y paralelo con LabVIEW.

Figura 23

SAD Basado en microprocesador



Nota: tomado de (Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), n.d.)

2.2.8. Normativa

2.2.8.1. Norma IEC 61724

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC: International Electrotechnical Commission) es la principal organización global encargada de desarrollar regulaciones internacionales en el campo de la tecnología eléctrica y electrónica. En particular, desarrolló la norma IEC 61724, que proporciona información detallada sobre la evaluación de instalaciones de energía solar. La norma consta de tres partes (IEC 61724-



1, -2 y -3) que cubren métodos y requisitos para la recopilación de datos de sistemas solares fotovoltaicos, esquemas de calificación energética y cálculos de rendimiento a largo plazo. Específicamente, la versión actualizada de 2022 de IEC 61724-1 describe terminología, equipos y métodos como recomendaciones generales para monitorear y analizar el desempeño de estos sistemas.

La Parte 1 de la norma IEC 61724, tiene como propósito establecer un marco para evaluar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, permitiendo la detección de problemas en los módulos o en el sistema en su conjunto. Además, especifica las condiciones y métodos de medición para evaluar el rendimiento del sistema en relación con la irradiación solar, la temperatura, la potencia nominal y otros parámetros operativos relevantes. Esta norma aborda varios aspectos del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, como el monitoreo de la radiación solar, la temperatura de los módulos, pautas para la selección de equipos de monitoreo, la calibración de instrumentos y la interpretación de datos recopilados.

La norma IEC 61724-1 establece dos categorías -clase A y B para los sistemas de monitoreo, basadas en la cantidad de variables que necesitan medirse en el lugar y en la precisión de esas mediciones. Los sistemas clasificados como clase B son aquellos que pueden utilizar estimaciones de datos satelitales y meteorológicas.

En la Tabla 5, la marca de verificación (\checkmark) indica que un parámetro debe ser medido directamente en el lugar, sin excepción. Por otro lado, el

símbolo "E" indica que un parámetro puede ser estimado utilizando datos meteorológicos locales o regionales, o bien, datos satelitales, en lugar de requerir una medición directa en el sitio.

Tabla 5

Parámetros eléctricos requeridos: Clase A, Clase B

Parámetros eléctricos requeridos: Clase A, Clase B				
Parámetro	Símbolo	Unidad	Clase A	Clase B
Entrada				
Irradiancia en el plano	Gi	w/m ²	✓	✓ o E
Temperatura ambiente	Tamb.	°C	✓	✓ o E
Temperatura en el modulo	Tmod.	°C	✓	✓
Salida eléctrica				
Potencia de salida (AC)	Pout	kW	✓	✓
Energía de salida	Eout	kWh	✓	✓

Nota: extraído de EC 61724.

La normativa también especifica requisitos de precisión para las mediciones de parámetros eléctricos (repetibilidad y resolución de las mediciones). La tabla 6 presenta los valores según la clasificación del sistema de seguimiento. Para los sistemas de Clase A, el requisito para una precisión máxima del $\pm 2\%$ para las mediciones directas de corriente y voltaje tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), mientras que las potencias DC y AC calculadas deben tener una precisión máxima del $\pm 3\%$. En los sistemas Clase B, los parámetros de corriente alterna (CA) requieren una precisión máxima de $\pm 3\%$ para corriente y voltaje y $\pm 4,5\%$ para la corriente, mientras que en el caso de corriente continua no se deben aplicar valores especiales a las variables.

Tabla 6*Requisitos de precisión para la medición de parámetros eléctricos*

Parámetro eléctrico	Sistema de clase A (%)	Sistema de clase B (%)
Voltaje de entrada (DC)	±2 %	n/a
Corriente de entrada (DC)	±2 %	n/a
Potencia de entrada (DC)	±3 %	n/a
Voltaje de salida (AC)	±2 %	±3 %
Corriente de salida (AC)	±2 %	±3 %
Potencia de salida (AC)	±3 %	±4,5 %

Nota: extraído de EC 61724.

Así mismo, la norma IEC 61724-1 establece los tiempos requeridos para la adquisición de datos. En primer lugar, distingue entre los conceptos de muestreo, registro y reporte de los valores obtenidos. El muestreo significa que el medidor recopila datos directamente, mientras que el registro significa que los datos se almacenan en función de valores seleccionados, como promedio, máximo, mínimo u otras funciones similares. Los informes, por otro lado, cubren múltiples registros que representan momentos a lo largo del período de recopilación y evaluación de datos. Las regulaciones establecen que para los sistemas de Clase A, el intervalo de muestreo no debe exceder los 5 segundos y el intervalo de registro no debe exceder los 5 minutos, pero se recomienda mantenerlo en 1 minuto. Para los sistemas de Clase B, el intervalo de muestreo se establece en 1 minuto y el intervalo de registro se establece en 15 minutos, los cuales son valores máximos. Además, se especifica que el intervalo de registro es un múltiplo del período de muestreo y se establece en una hora. La Tabla 8 resume los intervalos de tiempo estándar requeridos según la clasificación de los sistemas de monitoreo.

Tabla 7*Requisitos de intervalos de muestreo y registro*

Requerimiento	Sistema de clase A	Sistema de clase B
Máximo intervalo de muestreo	5 segundos	1 minuto
Máximo intervalo de registro	5 minutos	15 minutos

Nota: extraído de EC 61724.

Siguiendo la norma IEC 61724, se definen los parámetros más importantes a analizar en este estudio sobre un sistema fotovoltaico.

a) Irradiación solar

La irradiación solar en un periodo se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Hi_{\tau} = \sum_{K \in \tau} G_K \cdot \tau_K$$

Donde:

 Hi_{τ} : es la irradiación en el plano del mes (wh/m²). **G_K** : la irradiancia incidente en el plano (w/m²). **τ_K** : el intervalo del registro expresado en horas (h).**b) Energía generada por el conjunto fotovoltaico**

La energía generada por el panel solar se determina sumando la potencia continuo generada por el panel en cada registro de monitoreo. Esta potencia en cada registro se obtiene multiplicando la tensión por la corriente en corriente continua.



$$E_{A,\tau} = \sum_{k \in \tau} I_{dc,k} \cdot V_{dc,k} \cdot \tau_k$$

Donde:

$E_{A,\tau}$: energía generada por el conjunto fotovoltaico (wh)

$I_{dc,k}$: Corriente continuo (A)

$V_{dc,k}$: Voltaje continuo (v)

τ_k : el intervalo del registro expresado en horas (h).

c) Índice de producción del campo fotovoltaico

El índice de producción de un conjunto fotovoltaico, también llamado rendimiento array, está vinculado a la energía generada por el generador fotovoltaico y la potencia máxima bajo condiciones estándar de medición.

$$Y_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{P_p}$$

Donde:

$Y_{A,\tau}$: rendimiento array (wh/wp)

$E_{A,\tau}$: energía generada por el conjunto fotovoltaico (wh)

P_p : potencia pico del conjunto fotovoltaico (wp)

d) Eficiencia del conjunto fotovoltaico

Conocido también como eficiencia operativa, este concepto permite una evaluación cuantitativa del aprovechamiento de la energía solar que llega a la superficie de captación. Su definición es:

$$\eta_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{Hi_{\tau} \cdot A_{mod.}}$$

Donde:

$\eta_{A,\tau}$: eficiencia del conjunto fotovoltaico (%)

$E_{A,\tau}$: energía generada por el panel solar (wh)

Hi_{τ} : es la irradiación en el plano del mes (wh/m2).

$A_{mod.}$: área del conjunto fotovoltaico (m2)

Este valor puede ser contrastado con la eficiencia nominal del generador fotovoltaico suministrada por el fabricante. Cualquier disparidad entre ellos puede atribuirse a diversas pérdidas, como las causadas por la suciedad, la temperatura, la degradación de la potencia, entre otros factores.

e) Performance ratio (PR)

El Coeficiente de Rendimiento Global del Sistema, Performance ratio (PR), es una métrica empleada para evaluar la eficacia y el desempeño de un sistema fotovoltaico durante un periodo específico. Este coeficiente representa la proporción entre la energía eléctrica producida por los paneles solares y la energía solar que incide en el área de captación.



El Performance ratio (PR), se obtiene mediante la división de la energía eléctrica efectivamente producida (medida en kilovatios-hora o kWh) por la radiación solar incidente (expresada en kilovatios-hora por metro cuadrado o kWh/m²) y multiplicado dicha radiación solar por la potencia pico del conjunto fotovoltaico. Esencialmente, se calcula como la relación entre las horas equivalentes de funcionamiento del sistema fotovoltaico, y las horas máximas de sol disponibles. Este resultado, un valor sin unidades, proporciona una medida de cuánta energía eléctrica se ha generado en relación con la cantidad de energía solar disponible.

La elección del período de tiempo para calcular el PR puede variar, aunque suele ser común utilizar un período mensual o anual. El PR mensual ofrece una perspectiva detallada del rendimiento a corto plazo, mientras que el PR anual proporciona una evaluación más amplia a lo largo de todo un año. El empleo del PR a largo plazo resulta útil para monitorear el rendimiento del sistema y detectar posibles problemas o pérdidas a lo largo del tiempo.

$$PR_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{Hi_{\tau} \cdot P_p}$$

Donde:

$PR_{A,\tau}$: Performance ratio (PR) (%)

$E_{A,\tau}$: Energía generada por el conjunto fotovoltaico (wh)

Hi_{τ} : Es la irradiación en el plano del mes (wh/m²).

P_p : potencia pico del conjunto fotovoltaico (kwp)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

Los dos sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino estarán ubicados en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, entre las coordenadas UTM 19L Este: 390902 y Norte: 8250229 a una altitud de 3827 m.s.n.m.

Figura 24

Ubicación de los sistemas fotovoltaicos en Puno – Perú



Nota: imagen tomada del Google Earth

3.2. MATERIALES

3.2.1. Paneles fotovoltaicos

Para la presente investigación, se empleó tanto paneles fotovoltaicos monocristalino como policristalino, ambos con una capacidad de 100 Wp. Estos dos tipos de paneles representan tecnologías distintas en la captación de energía

solar y nos permitirán comparar sus rendimientos y características en condiciones ambientales de la ciudad de Puno.

Figura 25

Fotografía de los paneles solares



Nota: instalaciones de paneles solares de 12V / 100Wp en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, UNA Puno

3.2.2. Regulador de carga

Para utilizar los paneles solares de manera eficiente, es fundamental emplear controladores de carga diseñados para tensiones de 12 a 24 voltios. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial al regular el flujo de energía entre los paneles solares y la batería o acumulador en una instalación solar. Se instalan

estratégicamente entre los paneles solares y la batería para supervisar y controlar tanto la carga como la descarga de la batería, lo que garantiza un rendimiento óptimo y prolonga la vida útil del sistema solar.

En esta investigación, hemos empleado 02 controladores de carga del tipo MPPT (Maximum Power Point Tracking). Estos controladores son altamente eficientes y están diseñados para optimizar la producción de energía al rastrear continuamente el punto de máxima potencia de los paneles solares. Su capacidad para ajustar dinámicamente la tensión y corriente de carga garantiza que los paneles solares funcionen siempre en su punto óptimo, lo que maximiza la generación de energía y mejora la eficiencia del sistema solar en general.

Figura 26

Fotografía de regulador de carga para panel solar



Nota: controlador de carga MPPT de 10A

3.2.3. Baterías

Las baterías solares ayudan a incrementar los beneficios de contar con un conjunto paneles solares. Su finalidad primordial es la de almacenar energía solar,

producida por los paneles solares, para el uso en cualquier lugar que lo necesite, de manera que obtendrá autonomía energética.

Para esta investigación, se ha propuesto la instalación de 02 baterías con una capacidad de 38 Ah (Amperios-hora) cada una. Estas baterías desempeñarán un papel fundamental al proporcionar una reserva de energía esencial para el sistema solar. Su capacidad permitirá almacenar la energía generada durante el día, lo que garantizará un suministro constante de energía para las cargas eléctricas conectadas al sistema.

Figura 27

Fotografía de batería para panel solar



Nota: batería de 38AH – 12V

3.2.4. Conductores y conectores

La mayoría de los paneles solares de alta potencia se fabrican con cables fotovoltaicos que tienen conectores MC4 en los extremos. Los módulos solares actuales tienden a utilizar enchufes MC4 porque facilitan y aceleran el cableado de la matriz fotovoltaica. Los enchufes MC4 vienen en estilos macho y hembra que se encajan entre sí. Cumplen con los requisitos del Código Eléctrico Nacional, están listados en UL y son el método de conexión preferido por los inspectores eléctricos. Debido a su mecanismo de bloqueo, los conectores MC4 no se pueden

separar fácilmente, lo que los hace ideales para su uso en exteriores. Sin embargo, se pueden desconectar utilizando una herramienta especial de desconexión MC4 (SloCable, 2023).

Figura 28

Fotografía de los conductores y conectores



Nota: paneles monocristalino y policristalino

3.2.5. PLC

El PLC es un dispositivo electrónico crucial en la automatización industrial. Funciona como el núcleo de sistemas automatizados, ejecutando programas para controlar y supervisar operaciones. Maneja entradas y salidas digitales y analógicas, interactuando con sensores y actuadores. Su flexibilidad y programabilidad los hacen adaptables a diversas aplicaciones industriales, desde líneas de ensamblaje hasta plantas de fabricación. Los PLCs son vitales para mejorar la eficiencia, precisión y seguridad en entornos industriales.

Para esta investigación, el PLC se emplea como el componente principal para la recopilación de datos provenientes de los paneles solares monocristalinos y policristalinos.

Figura 29

Fotografía del PLC empleado para recolección de datos



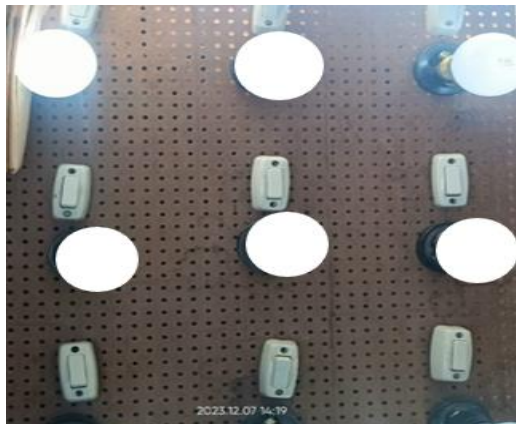
Nota: PLC SIMENS (TM241CE24R)

3.2.6. Sistema de carga (8 focos led de 7w)

Para esta investigación, se ha implementado de un sistema de carga que consta de ocho focos LED de 7W cada uno. Estos focos se han organizado en dos grupos, donde cada grupo está conectado para consumir la energía de una de las dos baterías de 38Ah. una batería almacena la energía generada por el panel solar policristalino y la otra por el panel monocristalino. Esta configuración permite una distribución equitativa de la carga entre las baterías y garantiza un suministro continuo de energía para la carga de focos de 7w.

Figura 30

Fotografía del sistema de carga



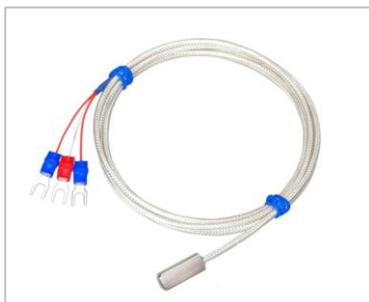
Nota: carga de ocho focos LED de 7W

3.2.7. Sensor de temperatura tipo PT100

Para este proyecto se utilizó un sensor de temperatura, el cual nos ayudó con medir la temperatura de los módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino. El sensor es de tipo RTD que cuenta con tres terminales de conexión, su principio de funcionamiento es variar la resistencia de un conductor en función de su temperatura; es decir, cuando se incrementa la temperatura en un metal, se produce una mayor agitación térmica, lo que provoca una dispersión más intensa de los electrones y una reducción en su velocidad media. Esto resulta en un aumento de la resistencia.

Figura 31

Fotografía del sensor de temperatura de tipo RTD (PT100)



Nota: tomado de (<https://acortar.link/oAteSe>)

3.2.8. Estructura de soporte para panel solar

La estructura de soporte se ha diseñado meticulosamente para adaptarse perfectamente a las dimensiones de los paneles solares de 100 Wp utilizados en este trabajo de investigación. Esta consideración es fundamental para garantizar un ajuste preciso y seguro de los paneles en la estructura. Además de coincidir con las dimensiones físicas de los paneles, la estructura se ha diseñado teniendo en cuenta otros factores importantes, como la resistencia a las cargas de viento y nieve, la durabilidad en diversas condiciones climáticas y la facilidad de instalación. Estos aspectos aseguran que la estructura no solo proporcione un soporte confiable para los paneles solares, sino que también optimice su rendimiento y prolongue su vida útil.

Figura 32

Estructura de soporte para panel solar



Nota: instalación de estructura para paneles solares



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.3.1. Población

Para Spiegle y Stephens (2009) la población es el total de individuos o conjunto de ellos que presentan o podrían presentar el rasgo característico que se desea estudiar.

En este caso, se tienen 2 paneles fotovoltaicos instalados orientadas en la misma dirección, recogiendo datos de cada uno de ellos. La población de puno cuenta con 131,564 habitantes en la ciudad de Puno.

3.3.2. Muestra

Según Hernandez et al. (2010) este define la muestra como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. Es un subconjunto de datos que corresponden a una población de datos. Estadísticamente hablando, la muestra debe estar compuesta por un numero específico de observaciones que representen adecuadamente en su totalidad del conjunto de datos.

La muestra para nuestra investigación fue tomada por 02 paneles fotovoltaicos de 100w.

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada cuyo propósito es vincular dos o más variables y determinar la relación o grado de asociación entre ellas (Hernandez et al., 2010). Este tipo de investigación, para nuestro caso busca comparar y



determinar cuál de los paneles solares tiene un mejor desempeño. El cual a su vez tiene un enfoque cuantitativo.

Según Hernandez et al. (2010), el enfoque cuantitativo es una metodología de investigación que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para entender fenómenos sociales o naturales.

3.4.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación aplicada es no experimental, en este tipo de diseño no se manipulan las variables (Hernández et al., 2010). En otras palabras, no se alteran intencionalmente las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables. En lugar de ello, se centra en observar y analizar los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural (Hernández et al., 2010).

Así mismo este corresponde a un “diseño longitudinal de evolución de grupo (cohortes)”. Según Hernandez et al., (2010) los diseños de evolución de grupo (cohortes) se centran en examinar los cambios a lo largo del tiempo en subpoblaciones o grupos específicos. Este tipo de diseño de investigación se focaliza en cohortes, que son grupos de individuos vinculados por alguna característica común. En este contexto, se analizan los patrones de evolución y las tendencias dentro de estas cohortes para entender cómo ciertos factores influyen en su desarrollo y comportamiento a lo largo del tiempo.

3.5. MODELO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO

Para el proceso de recolección de información, este se recolectará del uso de los paneles solares realizando la medición de la potencia generada en el sistema fotovoltaico



mediante un sistema de carga, PLC, un controlador, sensor de corriente y batería, con un ángulo de 15° óptimo de trabajo de los paneles solares en la provincia de Puno.

Por último, se procesarán los datos en hojas de cálculo, para importarlo al software SPSS para su análisis y evaluación estadística del trabajo de investigación.

3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOJO DE DATOS

Para efectos de la recolección de datos se utilizará los equipos necesarios para su recolección y posteriormente se trasladan a hojas de cálculo para su limpieza y procesamiento de los sistemas fotovoltaicos y la energía que produce por el efecto de la radiación y de los rayos solares Hernández et al. (2010), de esta manera nos ayudará a obtener información certera respecto de nuestra variable.

3.7. VARIABLES

Variable independiente

- Condiciones ambientales en las instalaciones

Variable dependiente

- Potencia
- Rendimiento
- Temperatura en la superficie de los paneles

Recursos materiales:

- Panel Solar 12V / 100Wp Monocristalino
- Panel Solar 12V / 100Wp Policristalino
- Batería Estacionaria 12V/38 Ah sellada libre de mantenimiento

- Controlador de Corriente y carga 12-24 V/10 Amp.
- Cables vulcanizado positivo y negativo
- Adquisición de instrumentos y equipos para recojo de datos
- Pinza amperimétrica

3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Presentamos a continuación la tabla de operacionalización de variables para el estudio, considerando las dimensiones, indicadores y forma de medición de los mismos.

Figura 33

Tabla de operacionalización de variables

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022				
Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Medición
<i>Variable Independiente:</i> Condiciones ambientales en las instalaciones UNA Puno	Permiten describir y analizar un aspecto significativo del estado del medio ambiente y su relación con los sistemas fotovoltaicos	Condiciones ambientales	* Temperatura del ambiente * Velocidad de viento * Radiación solar	Recopilación de información (SENAM HI y NASA Pouwer)
<i>Variable Dependiente:</i> Desempeño de los Sistemas Fotovoltaicos	Es la medida de rendimiento con la que un sistema de conversión de energía solar transforma la radiación solar incidente en electricidad utilizable.	Desempeño de los Sistemas Fotovoltaicos	*Temperatura en la superficie de los paneles *Potencia *Rendimiento	Instrumentos de Medición

Nota: elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los datos de los sistemas fotovoltaicos constituyen un conjunto crucial de información que permite comprender, analizar y optimizar el rendimiento y la eficiencia de las instalaciones solares. Estos datos abarcan una amplia gama de métricas, desde la producción de energía hasta el funcionamiento de cada componente del sistema. Al recopilar y analizar estos datos pudimos observar que no existen diferencias significativas entre los datos recopilados de los paneles policristalinos con los monocristalinos, motivo de esta investigación, por lo que presentamos los datos recopilados a continuación.

Tabla 8

Datos de la temperatura media mensual (°C) y el promedio velocidad de viento media mensual (m/s).

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Promedio velocidad de viento media mensual (m/s)
Enero	10.15	3.10
Febrero	10.30	3.03
Marzo	10.46	3.10
Abril	9.95	3.20
Mayo	9.03	3.90
Junio	7.62	3.67
Julio	8.72	3.20
Agosto	9.03	3.73
Setiembre	10.97	4.28
Octubre	11.30	4.33
Noviembre	12.34	4.40
Diciembre	10.92	3.87

Nota: los datos fueron obtenido de SENAMHI

La tabla 8 muestra que la temperatura media en Puno varía a lo largo del año, con el punto más bajo en junio (7.62°C) y el más alto en noviembre (12.34°C). La velocidad

del viento también fluctúa, siendo más alta en los meses de primavera y principios de verano (septiembre a noviembre), alcanzando un máximo de 4.40 m/s en noviembre.

Tabla 9

Tabla de estadísticos básicos sobre temperatura y promedio de velocidad mensual

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Promedio velocidad de viento media mensual (m/s)
Media	10.06	3.65
Máximo	12.34	4.40
Mínimo	7.62	3.03

Nota: los datos fueron obtenido del SENAMHI.

La Tabla 9 muestra que la media de temperatura en Puno ciudad fue de 10.06 °C en promedio, siendo la temperatura máxima de 12.34 °C y la mínima de 7.62 °C. La media de velocidad de viento medio es de 3.65 m/s con una máxima de 4.40 m/s y una mínima de 3.03 m/s.

Tabla 10

Tabla del promedio de irradiancia por mes

Mes	Promedio de irradiancia (w/m ²)
Enero	507.420
Febrero	457.309
Marzo	493.296
Abril	527.371
Mayo	468.376
Junio	542.780
Julio	499.682
Agosto	541.919
Setiembre	560.085
Octubre	539.326
Noviembre	620.745
Diciembre	489.707
Total, general	521.231

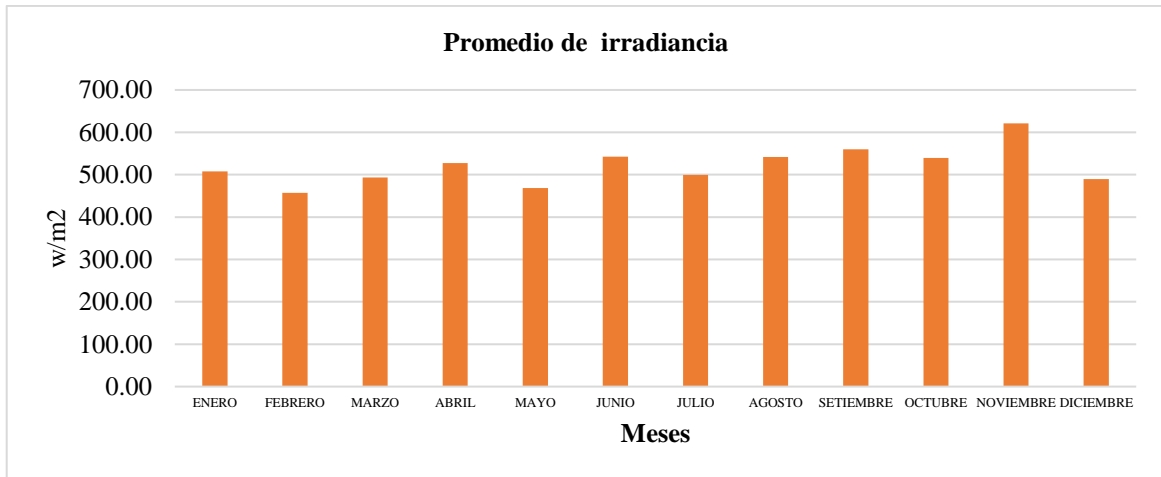
Nota: los datos fueron extraídos de la base de datos de la NASA y fueron promediados por mes.

La Tabla 10 muestra el promedio de irradiancia solar mensual en la ciudad de Puno, expresado en vatios por metro cuadrado (W/m²). La irradiancia solar es una medida de la potencia de la radiación solar recibida por unidad de área y es un factor crucial para

evaluar el potencial de generación de energía solar. El promedio anual es de 521.231 W/m² refleja un potencial significativo para aprovechar la energía solar. A continuación, se muestra el gráfico del promedio de irradiancia por mes:

Figura 34

Gráfico del promedio de irradiancia por mes



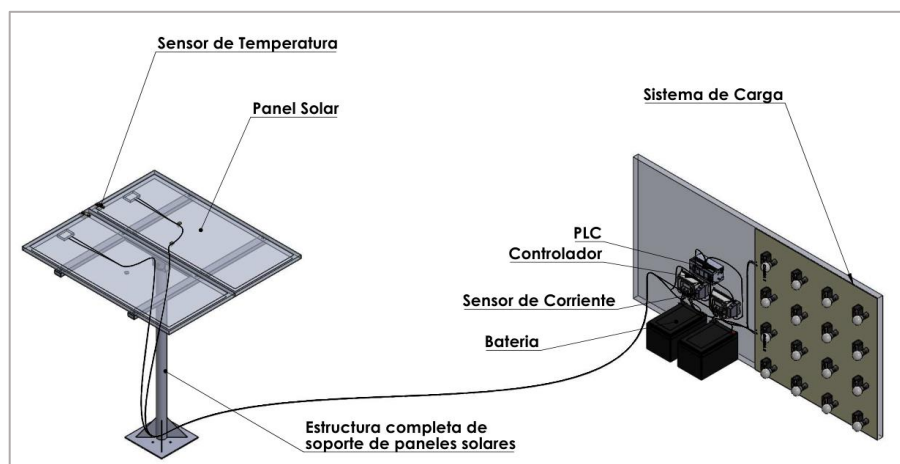
Nota: la gráfica muestra el comportamiento de la irradiación solar durante el año 2022.

4.2. ESQUEMA DE INSTALACIÓN

Aquí se muestran los esquemas de instalación los mismos que se encuentran en los anexos.

Figura 35

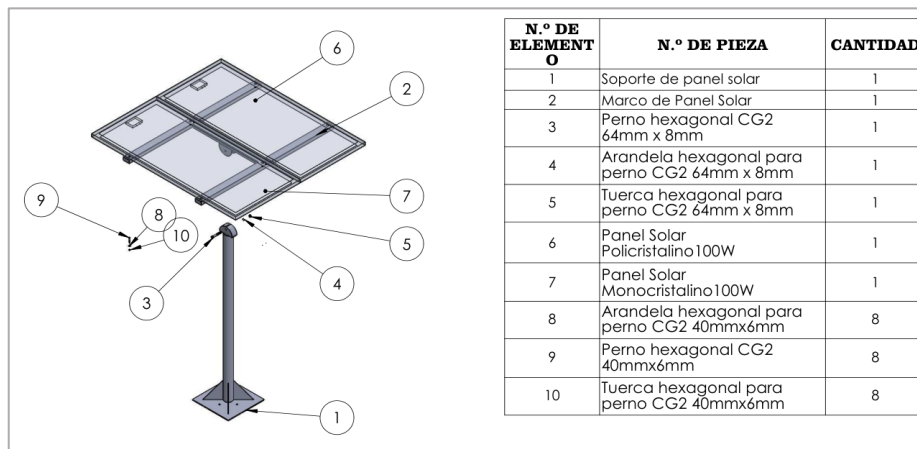
Esquema de funcionamiento de sistema de adquisición de datos



Nota: esquema de instalación de los equipos para recolección de datos

Figura 36

Detalle de estructura completa de panel solar



Nota: forma de instalación de los panes en la estructura.

Figura 37

Detalle de ángulo óptimo de paneles solares



Nota: ángulo de optimo de instalación de los paneles para recolección de datos.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Resultados de la irradiación en el plano, energía generada, rendimiento energético, eficiencia promedio y performance para paneles Monocristalinos

La siguiente tabla muestra los resultados de la **irradiancia** que se refiere a la cantidad de energía solar que llega a la superficie de un panel solar y en el plano es la cantidad de radiación solar que incide directamente sobre la superficie del panel, teniendo en cuenta su orientación y ángulo respecto al sol. Es un factor crucial para determinar la energía generada por el panel. La **energía generada** es la cantidad total de electricidad producida por un panel solar durante un período específico, siendo que esta depende de la irradiación solar, la eficiencia del panel y su área de superficie. Se mide en kilovatios-hora (kWh)

El **rendimiento energético** se refiere a la eficiencia con la que un panel solar convierte la radiación solar en electricidad, esta se calcula como la relación entre la energía generada y la irradiación solar recibida. Un alto rendimiento significa que el panel está aprovechando eficientemente la energía solar.

La **eficiencia promedio** de un panel solar es la proporción de la energía solar que puede convertir en electricidad. Para paneles monocristalinos, la eficiencia promedio suele estar entre el 15% y el 22%. Cuanto mayor sea la eficiencia, más energía generará el panel con la misma cantidad de radiación solar.

Los **paneles monocristalinos** son conocidos por su alta eficiencia y buen rendimiento en condiciones de luz solar directa. Los **paneles policristalinos** tienen una eficiencia de laboratorio cercana al 19%, pero su eficiencia comercial suele estar en torno al 15%. Aunque este porcentaje es menor en comparación con

los paneles monocristalinos, los policristalinos tienen un mejor comportamiento a altas temperaturas.

Los paneles monocristalinos funcionan bien en climas soleados y tienen una buena respuesta a la irradiación en el plano.

Tabla 11

Resultados de panel monocristalino

Mes	Área del panel m ²	Irradiación en el plano kWh/m ²	Energía generada kwh	Rendimiento energético del array kwh/kwp	Eficiencia promedio final del sistema %	Perfor mance ratio (PR) %
Enero	0.63	204.49	19.63	196.31	15.24	96.00
Febrero	0.63	162.99	15.54	155.41	15.14	95.35
Marzo	0.63	184.51	17.62	176.17	15.16	95.48
Abril	0.63	189.85	18.23	182.26	15.24	96.00
Mayo	0.63	165.87	15.83	158.27	15.15	95.42
Junio	0.63	181.75	17.35	173.52	15.15	95.47
Julio	0.63	186.88	17.84	178.45	15.16	95.49
Agosto	0.63	202.59	19.35	193.53	15.16	95.53
Setiembre	0.63	213.27	20.38	203.78	15.17	95.55
Octubre	0.63	219.35	20.87	208.65	15.10	95.12
Noviembre	0.63	243.09	23.24	232.41	15.18	95.61
Diciembre	0.63	198.35	18.95	189.46	15.16	95.52
Anual		2352.99	224.82	2248.22	15.17	95.55

Nota: se muestra los resultados obtenidos a lo largo del año del panel monocristalino de 100wp

En la Tabla 11 se muestra los resultados del panel monocristalino. A lo largo del año, la irradiación total alcanzó 2352.99 kWh/m², generando una energía total de 224.82 kWh. El rendimiento energético del array se mantuvo consistente, con un total anual de 2248.22 kWh/kWp. La eficiencia promedio del sistema fue del 15.17%, mientras que el PR promedio final fue de 95.55%. Los meses de mayor rendimiento fueron noviembre y septiembre, con una energía generada de 23.24 kWh y 20.38 kWh, respectivamente, destacando una alta eficiencia y un PR cercano al 96%.

Tabla 12*Resultados de paneles policristalinos*

Mes	Área del panel m2	Irradiación en el plano kWh/m2	Energía generada kwh	Rendimiento energético del array kwh/kwp	Eficiencia promedio final del sistema %	Performance ratio (PR) %
Enero	0.63	204.49	18.90	188.95	14.67	92.40
Febrero	0.63	162.99	14.96	149.58	14.57	91.78
Marzo	0.63	184.51	16.96	169.56	14.59	91.90
Abril	0.63	189.85	17.54	175.42	14.67	92.40
Mayo	0.63	165.87	15.23	152.34	14.58	91.84
Junio	0.63	181.75	16.70	167.01	14.59	91.89
Julio	0.63	186.88	17.18	171.75	14.59	91.91
Agosto	0.63	202.59	18.63	186.27	14.59	91.94
Setiembre	0.63	213.27	19.61	196.14	14.60	91.97
Octubre	0.63	219.35	20.08	200.83	14.53	91.56
Noviembre	0.63	243.09	22.37	223.69	14.61	92.02
Diciembre	0.63	198.35	18.24	182.35	14.59	91.93
Anual		2352.99	216.39	2163.91	14.60	91.96

Nota: se muestra los resultados obtenidos a lo largo del año del panel policristalino de 100wp

En la Tabla 12 se muestra los resultados del panel policristalino. A lo largo del año, la irradiación total fue de 2352.99 kWh/m², generando 216.39 kWh de energía. El rendimiento energético del array acumuló 2163.91 kWh/kWp, con una eficiencia promedio final del sistema de 14.60% y un PR anual de 91.96%. Los meses de mayor rendimiento fueron noviembre y septiembre, con energías generadas de 22.37 kWh y 19.61 kWh respectivamente. En general, aunque los paneles policristalinos mostraron un rendimiento y eficiencia ligeramente menores en comparación con los paneles monocristalinos, mantuvieron una consistencia razonable en su desempeño durante todo el año.

Tabla 13*Datos estadísticos por tipo de panel*

Panel monocristalino	Irradiación en el plano	Energía generada	Rendimiento energético del array	Eficiencia promedio final del sistema	Performance ratio (PR)
	kWh/m²	kwh	kwh/kwp	%	%
Máximo	243.09	23.24	232.41	15.24	96.00
Mínimo	162.99	15.54	155.41	15.10	95.12
Media	196.08	18.74	187.35	15.17	95.54
Desviación Estándar	22.64	2.17	21.67	0.04	0.25
Coefficiente de Variación	11.54%	11.56%	11.56%	0.26%	0.26%
Panel policristalino					
Máximo	243.09	22.37	223.69	14.67	92.40
Mínimo	162.99	14.96	149.58	14.53	91.56
Media	196.08	18.03	180.33	14.60	91.96
Desviación Estándar	22.64	2.09	20.85	0.04	0.24
Coefficiente de Variación	11.54%	11.56%	11.56%	0.26%	0.26%

Nota: se muestran la comparación de los datos obtenidos de los paneles estadísticamente.

En la Tabla 13 se compara los datos estadísticos de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, incluyendo la irradiación en el plano, energía generada, rendimiento energético del array, eficiencia promedio final del sistema y Performance Ratio (PR). Ambos tipos de paneles reciben la misma irradiación, con un máximo de 243.09 kWh/m² y una media de 196.08 kWh/m². Los paneles monocristalinos generan más energía, con una media de 18.74 kWh frente a 18.03 kWh de los policristalinos, y un rendimiento energético del array medio de 187.35 kWh/kWp comparado con 180.33 kWh/kWp. La eficiencia promedio final del sistema es ligeramente mayor en los paneles monocristalinos (15.17%) en comparación con los policristalinos (14.60%). El Performance Ratio también es superior en los monocristalinos, con un PR medio de 95.54% frente a 91.96% en los policristalinos. A pesar de estas diferencias, ambos tipos de paneles muestran consistencia en su desempeño, reflejada en sus bajos coeficientes de variación.

Tabla 14*Energía generada del panel policristalino y monocristalino*

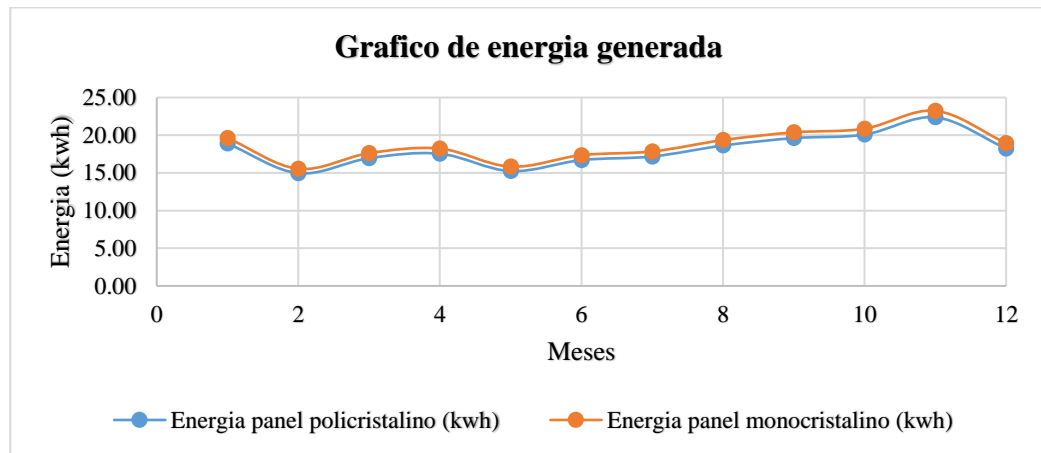
Mes	Energía panel policristalino (kwh)	Energía panel monocristalino (kwh)
Enero	18.90	19.63
Febrero	14.96	15.54
Marzo	16.96	17.62
Abril	17.54	18.23
Mayo	15.23	15.83
Junio	16.70	17.35
Julio	17.18	17.84
Agosto	18.63	19.35
Setiembre	19.61	20.38
Octubre	20.08	20.87
Noviembre	22.37	23.24
Diciembre	18.24	18.95
Anual	216.39	224.82

Nota: se muestra la comparación de resultados obtenidos de la energía generada de los paneles.

La Tabla 14 muestra la energía generada mensualmente por paneles fotovoltaicos policristalinos y monocristalinos. En cada mes del año, el panel monocristalino genera consistentemente más energía que el panel policristalino. Por ejemplo, en enero, el panel policristalino genera 18.90 kWh frente a los 19.63 kWh de monocristalino. Esta tendencia se mantiene a lo largo del año, culminando con una energía anual total de 216.39 kWh para los paneles policristalinos y 224.82 kWh para los monocristalinos. La diferencia en la energía generada indica que el panel monocristalino tiene un rendimiento superior en comparación con el policristalino bajo las mismas condiciones ambientales. A continuación, se muestra el gráfico de energía generada por mes.

Figura 38

Gráfico de energía generada



Nota: el gráfico representa la energía generada por el panel policristalino en (kwh) y el panel monocristalino (kwh)

Tabla 15

Rendimiento energético del array - panel policristalino y monocristalino

Mes	Rendimiento energético del array - panel policristalino kwh/kwp	Rendimiento energético del array - panel monocristalino kwh/kwp
Enero	188.95	196.31
Febrero	149.58	155.41
Marzo	169.56	176.17
Abril	175.42	182.26
Mayo	152.34	158.27
Junio	167.01	173.52
Julio	171.75	178.45
Agosto	186.27	193.53
Setiembre	196.14	203.78
Octubre	200.83	208.65
Noviembre	223.69	232.41
Diciembre	182.35	189.46
Anual	2163.91	2248.22

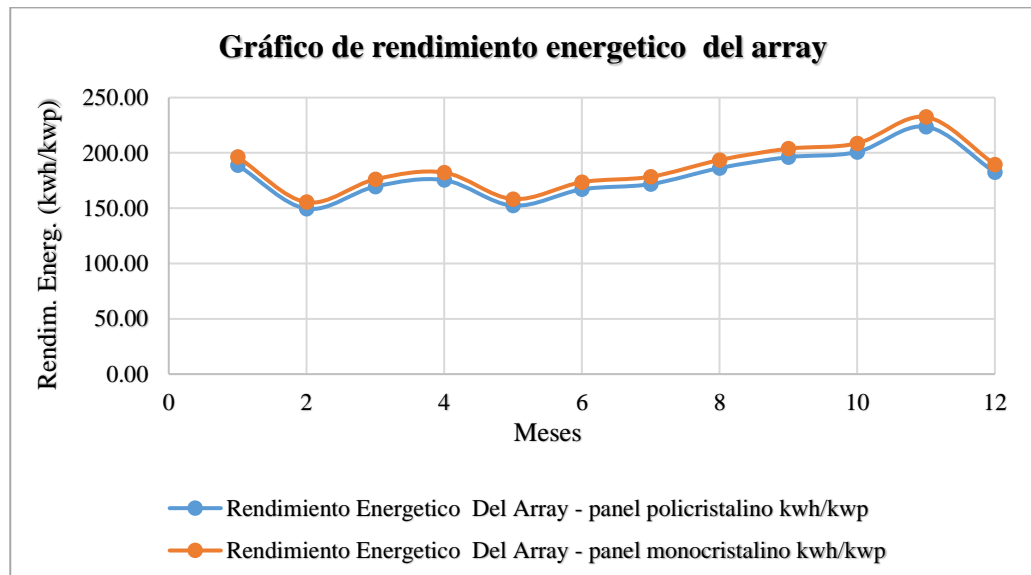
Nota: comparación de los resultados obtenidos de rendimiento energético de los paneles

La Tabla 15 presenta el rendimiento energético del array mensual para paneles fotovoltaicos policristalino y monocristalino. Cada mes del año, el panel monocristalino muestra un rendimiento energético superior en comparación con el panel policristalino. Por ejemplo, en enero, el rendimiento del array para el panel policristalino es de 188.95 kWh/kWp, mientras que para el monocristalino

es de 196.31 kWh/kWp. Esta diferencia se mantiene consistente a lo largo de todo el año, reflejando un mayor rendimiento acumulado anual para el panel monocristalino (2248.22 kWh/kWp) en comparación con el policristalino (2163.91 kWh/kWp). Esto indica que el panel monocristalino tiene una capacidad superior para convertir la irradiación solar en energía eléctrica útil bajo las mismas condiciones ambientales. A continuación, se muestra el gráfico del rendimiento energético del array por tipo de panel.

Figura 39

Gráfico del rendimiento energetico del array por tipo de panel



Nota: el gráfico representa el rendimiento energético del array por tipo de panel policristalino y monocristalino en kwh/kwp

Tabla 16*Tabla de la eficiencia de los paneles policristalino y monocristalino*

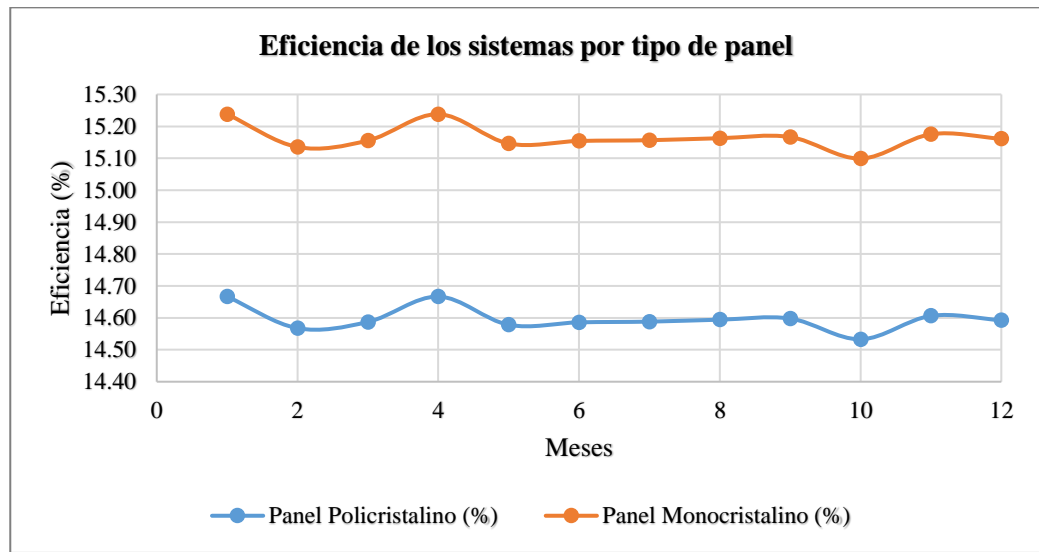
Mes	Área del panel (m ²)	Irradiación en el plano (kWh/m ²)	Eficiencia del sistema	
			Panel policristalino (%)	Panel monocristalino (%)
Enero	0.63	204.49	14.67	15.24
Febrero	0.63	162.99	14.57	15.14
Marzo	0.63	184.51	14.59	15.16
Abril	0.63	189.85	14.67	15.24
Mayo	0.63	165.87	14.58	15.15
Junio	0.63	181.75	14.59	15.15
Julio	0.63	186.88	14.59	15.16
Agosto	0.63	202.59	14.59	15.16
Setiembre	0.63	213.27	14.60	15.17
Octubre	0.63	219.35	14.53	15.10
Noviembre	0.63	243.09	14.61	15.18
Diciembre	0.63	198.35	14.59	15.16
Anual		2352.99	14.60	15.17

Nota: se muestra la comparación de los resultados obtenidos de eficiencia por tipo de panel

La Tabla 16 muestra la eficiencia mensual de los sistemas de paneles policristalino y monocristalino, junto con el área del panel y la irradiación en el plano correspondientes. Ambos tipos de paneles tienen un área de panel de 0.63 m² y reciben la misma irradiación en el plano a lo largo del año, con un total anual de 2352.99 kWh/m². La eficiencia promedio mensual para el panel policristalino varía de 14.53% a 14.67%, con una eficiencia anual promedio de 14.60%. En contraste, el panel monocristalino muestra una eficiencia mensual que varía de 15.10% a 15.24%, con una eficiencia anual promedio ligeramente superior de 15.17%. Esta diferencia mensual se traduce en una eficiencia global más alta para el panel monocristalino a lo largo del año, indicando una capacidad superior para convertir la energía solar en electricidad utilizable en comparación con los paneles policristalinos bajo las mismas condiciones ambientales. A continuación, se muestra el gráfico de la eficiencia de los sistemas por tipo de panel.

Figura 40

Gráfico de la eficiencia de los sistemas por tipo de panel



Nota: el gráfico representa la eficiencia de los sistemas por tipo de panel en porcentaje

Tabla 17

Tabla de performance ratio (PR) por tipo de panel

Mes	Irradiación en el Plano (kWh/m ²)	Performance Ratio (PR)	
		Panel Policristalino (%)	Panel Monocristalino (%)
Enero	204.49	92.40	96.00
Febrero	162.99	91.78	95.35
Marzo	184.51	91.90	95.48
Abril	189.85	92.40	96.00
Mayo	165.87	91.84	95.42
Junio	181.75	91.89	95.47
Julio	186.88	91.91	95.49
Agosto	202.59	91.94	95.53
Setiembre	213.27	91.97	95.55
Octubre	219.35	91.56	95.12
Noviembre	243.09	92.02	95.61
Diciembre	198.35	91.93	95.52
Anual	2352.99	91.96	95.55

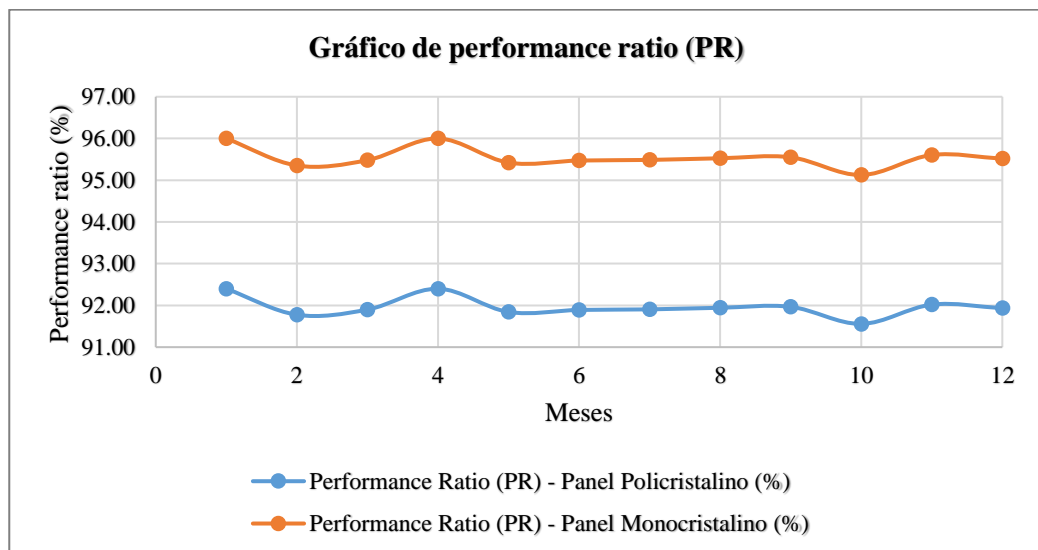
Nota: comparación de los resultados obtenidos de Performance Ratio (PR) por tipo de panel

La Tabla 17 presenta el Performance Ratio (PR) mensual para los paneles policristalino y monocristalino, junto con la irradiación en el plano correspondiente para cada mes y el PR anual acumulado. Ambos tipos de paneles tienen la misma área y reciben la misma irradiación en el plano a lo largo del año,

totalizando 2352.99 kWh/m². El PR mensual para el panel policristalino varía de 91.56% a 92.40%, con un PR anual promedio de 91.96%. Por otro lado, el panel monocristalino muestra un PR mensual que oscila entre 95.12% y 96.00%, con un PR anual promedio ligeramente superior de 95.55%. Esta diferencia mensual se refleja en un PR global más alto para el panel monocristalino a lo largo del año, indicando una mejor eficiencia en la conversión de la energía solar en electricidad utilizable en comparación con el panel policristalino bajo las mismas condiciones ambientales. A continuación, se muestra el gráfico del Performance Ratio (PR) por tipo de panel.

Figura 41

Gráfico del performance ratio (PR) por tipo de panel



Nota: el gráfico representa el Performance Ratio (PR) por tipo de panel

Tabla 18*Tabla de la temperatura del ambiente y de la superficie por tipo de panel*

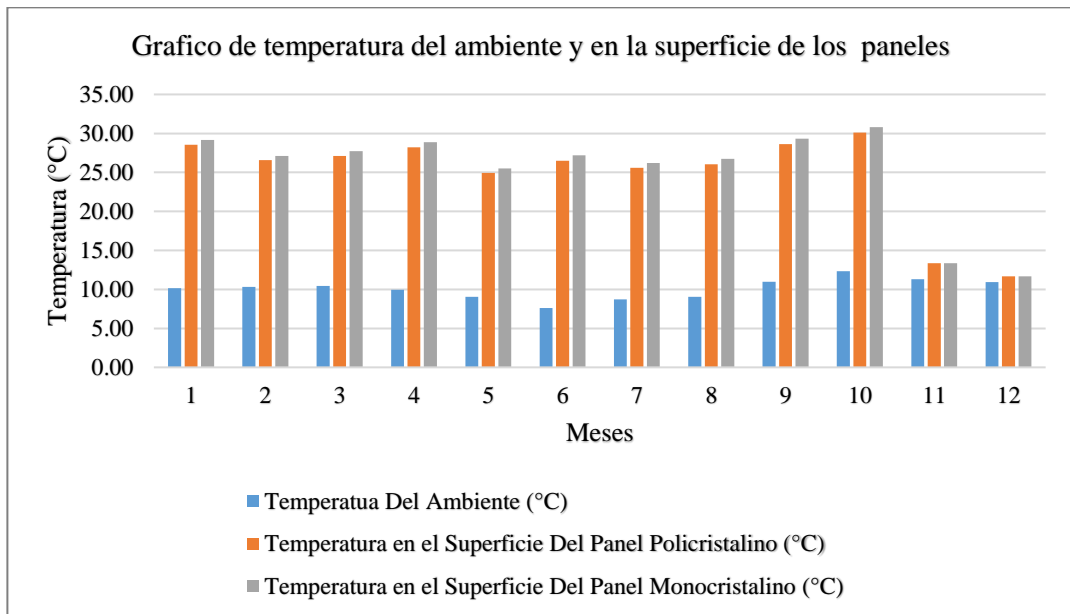
Mes	Temperatura del ambiente (°C)	Temperatura en la superficie	
		Panel policristalino (°C)	Panel monocristalino (°C)
Enero	10.15	28.54	29.17
Febrero	10.30	26.56	27.13
Marzo	10.46	27.12	27.74
Abril	9.95	28.22	28.88
Mayo	9.03	24.94	25.52
Junio	7.62	26.51	27.18
Julio	8.72	25.59	26.21
Agosto	9.03	26.06	26.74
Setiembre	10.97	28.63	29.33
Octubre	12.34	30.12	30.80
Noviembre	11.30	13.34	13.37
Diciembre	10.92	11.69	11.69
Anual	10.06	24.68	25.21

Nota: se muestra la comparación de los resultados obtenidos de temperatura en la superficie de cada tipo de panel

La Tabla 18 muestra las temperaturas mensuales promedio del ambiente y en la superficie para paneles policristalino y monocristalino. A lo largo del año, la temperatura promedio del ambiente varía de 7.62°C en junio a 12.34°C en octubre, con una temperatura anual promedio de 10.06°C. En comparación, la temperatura en la superficie del panel policristalino y monocristalino es generalmente más alta, variando desde 11.69°C en diciembre hasta 30.80°C en octubre para el panel policristalino, y desde 11.69°C en diciembre hasta 29.33°C en septiembre para el panel monocristalino. Esta diferencia entre las temperaturas del ambiente y en la superficie refleja el efecto de calentamiento que los paneles solares experimentan debido a la radiación solar, siendo ligeramente más alta en el panel policristalino en comparación con el monocristalino en la mayoría de los meses. A continuación, se muestra el gráfico de temperatura del ambiente en la superficie de los paneles.

Figura 42

Gráfico de temperatura del ambiente en la superficie de los paneles



Nota: el gráfico representa el gráfico de temperatura del ambiente y en la superficie de los paneles



4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. Prueba de normalidad de los datos

Para la prueba de normalidad de datos se hizo uso del test de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos analizados son de 12 meses, con las siguientes condiciones para identificar si sigue o no una distribución normal, con un nivel de significancia del 5%.

Hipótesis de normalidad

H₀: Los datos siguen una distribución normal

H_a: Los datos no siguen una distribución normal

Criterio de decisión

Si el **p-value** de la prueba es **mayor** al 0.05 de significancia, se acepta la hipótesis nula de normalidad y se rechaza la hipótesis alterna.

Si el p-value es **menor** al 0.05 de significancia, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, indicando que los datos no siguen una distribución normal.

4.4.2. Prueba de homocedasticidad de varianzas (homogeneidad)

Para la prueba homocedasticidad de varianzas hace uso del **Test de Levene** que es una prueba estadística inferencial utilizada para evaluar la igualdad de las varianzas para una variable calculada para dos o más grupos.

Hipótesis de homocedasticidad

H₀: Las varianzas son iguales

H_a: Las varianzas no son iguales



Criterio de decisión

Si el **p-value** de la prueba es **mayor** al 0.05 de significancia, se acepta la hipótesis nula de normalidad y se rechaza la hipótesis alterna.

Si el p-value es **menor** al 0.05 de significancia, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, indicando que los datos no siguen una distribución normal.

4.4.3. Hipótesis general

a) Hipótesis

Ho: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan el mismo desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano.

Ha: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano.

b) Nivel de significancia: 5% ó 0.05

c) Estadístico de Prueba: Test de normalidad, Homogeneidad de varianzas y Prueba T-student para muestras independientes.

Tabla 19*Estadísticas por tipo de panel para el performance ratio (PR)*

	Tipo de Panel	N	Media	Desv. Estándar
Performance Ratio (PR)	Panel Policristalino	12	91.96	0.24
	Panel Monocristalino	12	95.55	0.25

Nota: se muestra las medias y desviación estándar de performance ratio por tipo de panel

La Tabla 19 muestra los resultados del PR por tipo de panel. El panel Policristalino presenta una media de 91.96% de PR con una desviación estándar de 0.24 menor en comparación a la media del panel Monocristalino con una media de 95.55% de PR con una desviación estándar de 0.25.

Tabla 20*Estadísticas por tipo de panel para la eficiencia del panel solar*

Tipo de panel		N	Media	Desv. estándar
Eficiencia del panel	Panel policristalino	12	14.60	0.039
	Panel monocristalino	12	15.17	0.039

Nota: se muestra las medias y desviación estándar de eficiencia por tipo de panel

La Tabla 20 muestra los resultados de la media de la eficiencia del panel policristalino es de 14.598 con una Desviación estándar de 0.039 a diferencia del panel Monocristalino con una media de 15.168 y una desviación estándar de 0.0039, presenta una ligera diferencia en la media de la eficiencia.

Tabla 21*Pruebas de normalidad*

	Tipo de panel	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-value
Performance Ratio (PR)	Panel policristalino	0.862	12	0.052
	Panel monocristalino	0.869	12	0.063

Nota: se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, cuyo p – value es mayor a 0.05

La Tabla 21 muestra que para el panel Policristalino tiene un p-value de 0.052 mayor al 0.05 de significancia estadística, por lo que indica que los datos siguen una distribución normal. Para el panel Monocristalino tiene un p-value de 0.063 mayor al 0.05 de significancia estadística, por lo que también se concluye que los datos de este panel siguen una distribución normal.

Tabla 22

Prueba de Levene de igualdad de varianzas

	F	p-value
Performance Ratio (PR)	0.007	0.932
Eficiencia del panel	0.002	0.961

Nota: se muestra los resultados de la prueba de igualdad de varianzas, para los datos de (PR)

La Tabla 22 muestra los resultados de la prueba F de Levene con un valor de 0.007 y un p-value de 0.932 para el PR, y F de 0.002 con un p-value de 0.961 para la Eficiencia, por lo que se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad, que las varianzas son iguales

Es necesario para esta prueba estadística poder probar estos requisitos antes de realizar la prueba estadística de diferencia de medias por el método de T-student para muestras independientes.

Tabla 23

Prueba t para la igualdad de medias

	t	gl	p-value
Performance ratio (PR)	36.442	22	0.000
Eficiencia del panel	35.786	22	0.000

Nota: se muestra el resultado de la prueba t de los datos de PR eficiencia de los paneles.

La Tabla 23 muestra los resultados de la prueba T-student con un valor de 36.442 y con un p-value de 0.000 para el performance ratio (PR), así mismo, un valor de 35.786 y un p-value de 0.000 para la eficiencia. Dichos resultados de



p-value son menores al 0.05 por lo que rechaza la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna.

d) Conclusiones

En base a los resultados podemos indicar que los datos siguen una distribución normal y que las varianzas son homogéneas y al realizar la prueba estadística de T-student para muestras independientes, vemos que para el PR y la eficiencia el valor de la T-student es de 36.442 y 35.786, con un p-value para ambos casos de 0.000 menor al 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, en otras palabras podemos afirmar que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano, basados en la prueba de Performance Ratio (PR).

4.4.4. Hipótesis específicas

Hipótesis específicas 1

a) Hipótesis

Ho: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presenta la misma producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.

Ha: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una mejor producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.

b) Nivel de significancia: 5% ó 0.05

- c) Estadístico de Prueba: Test T-student para muestras independientes y Test de Levene.

Tabla 24

Estadísticas de grupo para la energía generada del panel

	Tipo de panel	N	Media	Desv. estandar
Energía del panel	Panel policristalino	12	18.03	2.09
	Panel monocristalino	12	18.74	2.17

Nota: se muestra las medias y desviación estándar de los datos de energía generada de paneles

La Tabla 24 muestra la media del panel policristalino que es de 18.03 con una desviación estándar de 2.09 menor a la media del panel monocristalino de 18.74 con una desviación estándar de 2.17.

Tabla 25

Prueba de Levene de igualdad de varianzas

	F	p-value
Energía del panel	0.015	0.905

Nota: resultados de la prueba de igualdad de varianzas de los datos de energía generada de los paneles

La Tabla 25 muestra el valor de la F de Levene con un valor de 0.015 con un p-value de 0.905 pudiendo concluir en las varianzas de los paneles son homogéneos.

Tabla 26

Prueba t para la igualdad de medias

	t	gl	p-value
Energía del panel	0.809	22.000	0.427

Nota: muestra los resultados de la prueba de T, de datos de energía generada de los paneles

La Tabla 26 muestra los resultados del T-Student para medias independientes, donde el valor de t es de 0.809 con un valor de p-value de 0.427, lo que indica que se debe aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna.



d) Conclusiones

Según los resultados obtenidos en esta prueba de hipótesis, podemos concluir con un 95% de confianza que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presenta la misma producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, o que no se encontraron evidencias estadísticas que demuestren que uno de ellos produzca una mayor cantidad de energía.

Hipótesis específicas 2

a) Hipótesis

Ho: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan el mismo rendimiento que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno

Ha: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor rendimiento que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno

b) Nivel de significancia: 5% ó 0.05

e) Estadístico de Prueba: Test T-student para muestras independientes y Test de Levene

Tabla 27

Estadísticas para el rendimiento energético del array

	Tipo de panel	N	Media	Desv. estándar
Rendimiento energético del array	Panel policristalino	12	180.32	20.85
	Panel monocristalino	12	187.35	21.67

Nota: los resultados de media y desviación estándar de los datos de rendimiento energético del array de los paneles

La Tabla 27 muestra los resultados rendimiento energético del array del panel policristalino con una media de 180.32 y una desviación estándar de 20.85 menor a la media del panel monocristalino de media 187.35 con una desviación estándar de 21.67.

Tabla 28

Prueba de Levene de igualdad de varianzas

	F	p-value
Rendimiento energético del array	0.015	0.905

Nota: se muestra la prueba de igualdad de varianzas de los datos de rendimiento energético del array de los paneles

La Tabla 28 muestra el resultado del test de Levene con un valor de F de 0.015 y un p-value de 0.905, lo que indica que las varianzas son homogéneas.

Tabla 29

Resultado de la prueba t para la igualdad de medias

	t	gl	p-value
Rendimiento energético del array	0.809	22	0.427

Nota: se muestra la prueba T de los datos de rendimiento energético del array de los paneles

La Tabla 29 muestra el resultado del Test T-student de 0.809 con p-value de 0.427, lo que indica que se debe aceptar la hipótesis nula y se debe rechazar la hipótesis alterna.

c) Conclusiones

En base a los resultados obtenidos de esta prueba estadística, podemos afirmar con un 95% de confianza que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan el mismo rendimiento que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.

Hipótesis específicas 3

a) Hipótesis

Ho: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan la misma temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno

Ha: Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una menor temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno

b) Nivel de significancia: 5% ó 0.05

c) Estadístico de Prueba: Test T-student para muestras independientes y Test de Levene

Tabla 30

Estadísticas para la temperatura en la superficie del panel

	Tipo de panel	N	Media	Desv. estandar
Temperatura en la superficie del panel	Panel policristalino	12	24.78	5.92
	Panel monocristalino	12	25.31	6.16

Nota: se muestra la media y desviación estándar de los datos de temperatura en la superficie de los paneles

La Tabla 30 muestra que la media de temperatura del panel policristalino es de 24.78 °C en promedio con una desviación estándar de 5.92, y la temperatura del panel monocristalino es de 25.31°C en promedio con una desviación estándar de 6.16.

Tabla 31

Prueba de Levene de igualdad de varianzas

	F	p-value
Temperatura en la superficie del panel	0.010	0.920

Nota: se muestra la prueba de igualdad de varianzas para los datos de temperatura en la superficie de los paneles

La Tabla 31 muestra el resultado del test de Levene con un valor de F de 0.010 y un p-value de 0.920, lo que indica que las varianzas entre las temperaturas de los paneles son homogéneas.

Tabla 32

Resultado de la prueba t para la igualdad de medias

	t	gl	p-value
Temperatura en la superficie del panel	0.218	22	0.830

Nota: se muestra la prueba de T para los datos de temperatura en la superficie de los paneles

Esta Tabla 32 muestra los resultados de la prueba T-student con un valor de 0.218 y un p-value de 0.830, lo que indica que se debe aceptar la hipótesis nula y se debe rechazar la hipótesis alterna.

d) Conclusiones

En conclusión y en base a los resultados obtenidos podemos afirmar con un 95% de confianza que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan la misma temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno.

4.5. DISCUSIÓN

Con respecto a la energía generada, se observó que la energía media generada del panel monocristalino es de 18.74 kwh y 18.03 kwh para el panel policristalino, encontrado una ligera variación, pero estadísticamente no presenta variación entre ellas, indicando que estas son similares. La producción anual de energía del panel policristalino es de 216.39 kwh y la producción anual de energía del panel monocristalino es de 224.82 kwh. De manera similar, Valdivieso (2021) sostiene que los paneles solares monocristalinos presentan una ligera ventaja en la producción de energía. En su análisis sobre la influencia de los paneles policristalinos y monocristalinos en la producción de energía de una planta fotovoltaica, se evidenció una mejora positiva en la producción de energía por parte de los paneles monocristalinos; dicho resultado guarda relación con los resultados obtenidos.

Los paneles monocristalinos son conocidos por tener un alto nivel de eficiencia, que puede alcanzar hasta el 20%, esto significa que pueden convertir una mayor cantidad de luz solar en electricidad en comparación con los paneles policristalinos que tiene una eficiencia entre 17% a 18% (Paz y Días, 2021). Para nuestro caso se obtuvo la eficiencia una media final de 15.17% anual para el panel monocristalino, en comparación a la media del panel policristalino de 14.60%, apreciándose una mejora en la eficiencia en los paneles monocristalinos. De la misma forma, Huaman (2018) sostiene que el sistema monocristalino y el sistema policristalino presentaron valores de rendimiento de 18.40% y 15.67% siendo el panel monocristalino superior a policristalino en términos de eficiencia. Dichos resultados guardan relación con lo que se halló en la presente investigación. La variabilidad en la eficiencia de los paneles se puede atribuir a diversos factores ambientales propios del lugar de estudio, así como a la orientación, inclinación de la instalación y la calidad de las células solares. Estos elementos desempeñan un papel



crucial en el rendimiento general de los paneles solares, destacando la importancia de un diseño e instalación adecuados para maximizar su eficiencia.

El rendimiento energético de los paneles solares se refiere a la cantidad de energía eléctrica que pueden generar en relación con su capacidad nominal, que se mide en kilovatios pico (kWp) (Ayadi et al., 2022). Para el rendimiento energético del array en el panel monocristalino, se observa que presenta una media de 187.35 kWh/kWp, con un valor mínimo de 155.41 kWh/kWp en febrero y un valor máximo de 232.41 kWh/kWp en noviembre. En cuanto al panel policristalino, su rendimiento energético tiene una media anual de 180.33 kWh/kWp, con un valor mínimo de 149.58 kWh/kWp en febrero y un máximo de 223.69 kWh/kWp en noviembre. La suma del rendimiento energético anual es de 2248.22 kWh/kWp para el panel monocristalino y 2163.91 kWh/kWp para el panel policristalino. Esto significa que, en promedio, el panel monocristalino puede generar 187.35 kWh de energía por cada kWp de capacidad instalada, mientras que el panel policristalino puede generar 180.33 kWh por cada kWp de capacidad instalada. Es importante tener en cuenta que el rendimiento energético de los paneles solares puede verse afectado por varios factores, como la ubicación geográfica, la inclinación y orientación de los paneles, las condiciones climáticas y la calidad de los componentes utilizados en la instalación (Ayadi et al., 2022). Por lo tanto, estos valores pueden variar en diferentes situaciones y condiciones.

El performance ratio (PR) es una medida que indica la eficiencia de un sistema fotovoltaico en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica utilizable. Se expresa como un porcentaje y se calcula dividiendo la energía eléctrica generada por el sistema durante un período determinado por la energía solar incidente en ese mismo período (Znidarec et al., 2019). Según los resultados obtenidos, se mostró que el performance ratio promedio para el panel monocristalino es del 95.54%, mientras que



para el panel policristalino es del 91.96%. Esto indica que, en promedio, el panel monocristalino tiene un performance ratio mayor en comparación con el panel policristalino. El performance ratio más alto en los paneles monocristalinos sugiere una mayor eficiencia en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica utilizable (Ayadi et al., 2022). Los resultados guardan relación con lo que sostiene Mulcué et al. (2020) el sistema monocristalino y el sistema policristalino presentaron valores promedio de rendimiento del 86% y 78%, respectivamente. De la misma forma sostiene Ayadi et al. (2022) que el sistema monocristalino obtuvo el valor más alto con 80.5%, mientras que el sistema policristalino tuvo el valor más bajo con 72 %. La variación en los resultados del rendimiento de los paneles se debe a la interacción de factores ambientales específicos del lugar en estudio, así como a la orientación, inclinación de instalación y calidad de las células solares. Además, es importante destacar la eficiencia de los equipos de medición de datos utilizados en estos estudios. Equipos de alta precisión garantizan la recolección de datos más exactos y fiables, lo cual es fundamental para evaluar correctamente el rendimiento de los paneles solares. La precisión y calibración adecuada de estos equipos pueden influir significativamente en los resultados, subrayando la necesidad de utilizar tecnología de medición avanzada para obtener conclusiones más precisas y relevantes.

Según los resultados obtenidos de la temperatura en la superficie de los paneles, la temperatura promedio anual del panel policristalino fue de 24.78°C, mientras que la del panel monocristalino fue de 25.31°C. Se aprecia que el panel policristalino presenta una temperatura ligeramente mayor. Estos resultados demuestran lo contrario con lo señalado por Choque (2023) quien obtuvo como resultado que las temperaturas en módulos fotovoltaicos policristalinos son mínimamente superiores al del módulo monocristalino. Esta discrepancia puede atribuirse a la interacción de diversos factores



ambientales específicos del lugar en estudio, así como a las propiedades térmicas de los materiales de los módulos.

Con respecto a los resultados de las hipótesis planteadas, se hizo uso de la prueba estadística T-Student para muestras independientes, que es una herramienta estadística utilizada para comparar las medias de dos grupos diferentes y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. En base a los resultados proporcionados, se indica que los datos siguen una distribución normal y que las varianzas son homogéneas. Además, se menciona que se realizó la prueba t de Student para muestras independientes, obteniendo un valor de la t-student de 36.442 y un p-valor de 0.000, menor que el nivel de significancia de 0.05, que indica que podemos afirmar que los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano, basados en la prueba de Performance Ratio (PR). El p-valor es una medida que indica la probabilidad de obtener una diferencia igual o más extrema entre las medias de los dos grupos, asumiendo que no hay diferencia real entre ellos.

En conclusión y en base a los resultados de la prueba t, estos indican que los sistemas fotovoltaicos monocristalinos presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalinos en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano, basados en la prueba de Performance Ratio (PR). Lo mismo ocurre con el análisis de la eficiencia del panel fotovoltaico, sabiendo que la eficiencia del panel fotovoltaico se refiere a la capacidad del panel para convertir la luz solar en electricidad utilizable. Se calcula como el porcentaje de energía solar incidente que se convierte en electricidad. Cuanto mayor sea la eficiencia de un panel, más electricidad producirá por la cantidad de luz que incide en él. La eficiencia de un panel solar depende de varios factores, como la calidad de las células fotovoltaicas que



componen el panel, el diseño de la celda y el tipo de silicio utilizado. Además, el tamaño y la disposición de las células solares, el diseño del panel y otros factores técnicos también pueden influir en la eficiencia del panel.

Es importante tener en cuenta que la eficiencia de los paneles solares puede variar entre diferentes modelos y fabricantes. En general, los paneles solares más eficientes tienen una mayor capacidad para convertir la luz solar en electricidad, lo que significa que pueden generar más energía ocupando menos espacio.

Con respecto a las hipótesis específicas que buscan probar la relación entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una mejor producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, o que presentan un mejor rendimiento o una menor temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, podemos observar que entre estas comparativas, estadísticamente no se encontraron diferencias, más al contrario, los resultados estadísticos de todas las pruebas realizadas, indican que existe igualdad entre ellas, y las diferencias son mínimas, pudiéndose comprobar en las tablas presentadas en cada una de las hipótesis específicas presentadas.

Según los resultados, los sistemas fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos tienen la misma finalidad de producir electricidad a partir de la energía solar. Ambos tipos de paneles están formados por células solares de silicio y pueden ser opciones excelentes para cualquier tipo de instalación fotovoltaica, ya sea para una casa, una empresa o una huerta solar.



V. CONCLUSIONES

- Nuestro principal objetivo fue comparar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, para lo cual se instalando dos paneles (policristalino y monocristalino) de 100W cada uno con todos los equipos necesarios para recolectar la información. Concluimos que existen diferencias entre ellas, ya que el sistema fotovoltaico monocristalino presenta un mejor desempeño que el policristalino. El performance ratio promedio fue del 91.96% para el panel policristalino y del 95.55% para el monocristalino, con una varianza mínima de 0.24 y 0.25 respectivamente. En cuanto a la eficiencia, el panel monocristalino mostró una media de 15.17%, ligeramente superior al 14.60% del policristalino. La prueba estadística T-student para muestras independientes arrojó valores de 36.442 y 35.786 para el performance ratio y la eficiencia respectivamente, con un p-value de 0.000 en ambos casos, lo que confirma que el sistema fotovoltaico monocristalino supera significativamente al policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano.
- El primer objetivo específico fue analizar cuál de los sistemas presenta una mejor producción de energía entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, vimos con mucha sorpresa que la producción de energía para nuestro experimento no presentó diferencias entre ellos, con una media de energía generada del panel policristalino de 18.03 kwh y una desviación estándar de 2.09, es ligeramente menor a la media de producción de energía del panel monocristalino con una media de 18.74 kwh y una desviación estándar de 2.17. Se puede apreciar que la varianza entre los paneles son



homocedásticos o que las varianzas son iguales y que estadísticamente no se presentan diferencias entre ellas.

- El otro objetivo planteado fue determinar cuál de los sistemas presenta un mejor rendimiento entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno, para lo cual encontramos que para el rendimiento Energético del Array el panel policristalino presenta una media de 180.32 kwh/kwp con una desviación estándar de 20.85, ligeramente menor al rendimiento energético del panel monocristalino con una media de 187.35 kwh/kwp y una desviación estándar de 21.67, que estadísticamente no presentan diferencias entre ellas con respecto al rendimiento energético.
- Nuestro último objetivo fue compara cuál de los sistemas presenta una menor temperatura entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno donde se pude observar que la media de temperatura del panel policristalino fue de 24.78°C con una desviación estándar de 5.92, ligeramente diferente al panel monocristalino que presenta una media de temperatura de 25.31°C con una desviación estándar de 6.16, encontrándose que no existe diferencia en temperatura de ambos paneles, siendo estadísticamente iguales.



VI. RECOMENDACIONES

- De requerirse la implementación de un sistema fotovoltaico en la ciudad de Puno, se recomienda analizar el tema del costo de inversión, ya que en nuestra investigación no se encontró variaciones significativas del desempeño entre los paneles fotovoltaicos policristalinos y monocristalinos.
- Para futuras investigaciones se recomienda hacer el análisis en los módulos fotovoltaicos con limpieza y sin limpieza, debido a que el polvo y la suciedad pueden reducir la eficiencia de los paneles al bloquear la luz solar que debería ser absorbida por las células fotovoltaicas. Esta obstrucción puede disminuir la cantidad de electricidad generada, afectando la producción de energía. Además, la acumulación de suciedad puede causar sombreado parcial en los paneles, lo que lleva a pérdidas adicionales de energía.
- Para futuras investigaciones se recomienda hacer el análisis de los módulos fotovoltaicos con distintas inclinaciones en la ciudad de Puno; debido a que en nuestra investigación al considerar un solo ángulo no se encontró variación significativa con respecto al rendimiento energético entre los paneles fotovoltaicos policristalinos y monocristalinos.
- Para asegurar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de los paneles solares, es crucial seleccionar ubicaciones que faciliten la circulación de aire alrededor de los paneles. Esto ayuda a disipar el calor acumulado durante el funcionamiento, lo cual es fundamental porque temperaturas elevadas pueden reducir la eficiencia de los paneles. Al instalar los paneles en lugares bien ventilados, se favorece la refrigeración natural de los mismos, lo que contribuye a mantener su temperatura dentro de límites aceptables para un rendimiento óptimo de conversión de energía solar en electricidad. Además, una adecuada ventilación ayuda a prevenir el



sobrecalentamiento de los componentes electrónicos internos de los paneles, lo cual es crucial para su durabilidad y eficiencia a largo plazo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATERSA. (2023). *Cómo funciona una célula fotovoltaica*. <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>
- Auto Solar. (2023). *Diferencias entre silicio monocristalino y policristalino*. <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>
- Ayadi, O., Shadid, R., Bani-Abdullah, A., Alrbai, M., Abu-Mualla, M., & Balah, N. A. (2022). *Experimental comparison between Monocrystalline, Polycrystalline, and Thin-film solar systems under sunny climatic conditions*. *Energy Reports*, 8, 218–230. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.121>
- Baghzouz, Y. (2011). *Sunlight and its Properties*.
- Barragán Llanos, R. A., & Llanes Cedeño, E. A. (2020). *La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables*. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(104), 36–46. <https://doi.org/10.47460/UCT.V24I104.364>
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (1999). *Atmósfera, tiempo y clima*. 500.
- Benavides Mendoza, A., & Ramirez Rodriguez, H. (1991). *Respuestas de la plantas a la radiacion electromagnetica*. *August 2002*, 1–14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19278.61769>
- Benoit Beckers, L. M., & Beckers, P. (2007). *Una proyección sintética para el diseño arquitectónico con la luz del sol*. 1–25.
- Bragús Bardía, R., & Pallás Areny, R. (1992). *Sistemas integrados de adquisición de datos*. *Mundo Electronico*, 1-- 6.



- Catalán Alonso, H. (2021). *Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México*. *Problemas Del Desarrollo*, 52(204), 59–83. <https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2021.204.69611>
- Chen, Z. M., & Chen, G. Q. (2011). *An overview of energy consumption of the globalized world economy*. *Energy Policy*, 39(10), 5920–5928. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2011.06.046>
- Cintas, A. (2014). *Producción de silicio dopado en el ra10*. Organismo Internacional de Energía Atómica, 1–7.
- Clima Argentina. (2023). *¿Qué es una masa de aire y qué movimientos y desplazamientos tiene?* <https://www.clima.com/meteopedia/masa-aire>
- Corner, J. (2018). *The Solar Radiation*. *Theorising Media*, 1–42. <https://doi.org/10.7765/9781847794642.00006>
- Choque Torres, A. L. (2023). *Caracterización de módulos fotovoltaicos para determinar perdidas por temperatura mediante cámara termográfica infrarroja IR – campus Ayabacas*. Universidad Nacional de Juliaca. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/handle/UNAJ/304>
- Cutipa, J. M. R., Castañón, N. J. B., Larico, E. R. A., Mamani, V. S., Yucra, R. C., Viveros, H. P., Roque, P. Y. P., & Macedo, W. N. (2020). *Occurrences of extreme solar irradiance at 3812 meters above sea level, at Lake Titicaca (Puno - Peru) [Ocurrencias de Irradiancia Solar Extrema a 3812 m.s.n.m., a nivel del Lago Titicaca (Puno - Perú)]*. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology.
- De La Gala Contreras, A. (2018). *Implementación de un seguidor solar para la evaluación energética comparativa de paneles fotovoltaicos*.



Diccionario de la lengua española | RAE. (n.d.). *Isolación*. Retrieved April 22, 2024, from <https://dle.rae.es/insolaci%C3%B3n>

Enel Green Power. (2023). *Módulo fotovoltaico*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>

Espejo-Marín, C., & Aparicio-Guerrero, A. E. (2020). *La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el Siglo XXI*. *Revista de Estudios Andaluces*, 39. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>

Elahi Gol, A., & Ščasný, M. (2023). *Techno-economic analysis of fixed versus sun-tracking solar panels*. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(3), 615-626. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.50165>

Fiallos Chamorro, D. D. (2020). *Determinación del punto óptimo de potencia de paneles fotovoltaicos en base a variables difusas mediante el modelo de liu jordan*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 1.

García Vera, Y. E., Sanabria Pérez, L. F., Cruz Pardo, L. A., & Montufar Benavides, C. H. (2019). *Análisis Comparativo del Rendimiento de los Módulos Fotovoltaicos Monocristalino y Policristalino bajo Condiciones Climáticas de Fusagasugá*. *Ingeniería*, 24(1). <https://doi.org/10.14483/23448393.13751>

García-Esparza, L., & Rubiano Galindo, G. A. (2015). *Selección y validación de un modelo de estimación del potencial energético solar confiable en la ciudad de Bogotá*.

Gardey-Merino, M. C. (2013). *Introducción a la Geometría solar*.



- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In J. M. Chacón (Ed.), *Metodología de la investigación* (Quinta edi). <https://doi.org/>- ISBN 978-92-75-32913-9
- Huaman Romoacca, J. (2018). *Estudio Comparativo de Potencia Generada por Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- IDEAM. (2023). *Características de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- International Electrotechnical Commission, & International Electrotechnical Commission. Technical Committee 82. (n.d.). *Photovoltaic system performance. Part 1, Monitoring*.
- La Energía Solar. (2020). *La Energía Solar*. La Energía Solar, 1–33.
- Lira Oliver, A., & Guevara Mon, A. B. (2018). *Irradiancia y radiancia*. Leías, 7.
- Lynn, P. A. (2010). *Electricity from sunlight : an introduction to photovoltaics*. 221.
- Martínez, M. (2016). *Radiación solar - conceptos y aplicaciones*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 109, 1–4.
- Martinez M, J. L. (2018). *El movimiento aparente del Sol | Astronomía para todos*. <https://astronomiaparatodos.com/2018/11/16/el-movimiento-aparente-del-sol/>
- Moreno-Arrones, C. N. (2022). *Diseño la automatización y la plataforma de un de sensor de radiación solar directa en Arduino*. Universidad de Sevilla.



- Mokal, B. D., & Mokal, A. P. (2020). *Solar photovoltaic system*. 6(5). Shaik, F., Lingala, S. S., & Veeraboina, P. (2023). *Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: A review and the experimental study*. *Sustainable Energy Research*, 10(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40807-023-00076-x>
- Mulcué-Nieto, L. F., Echeverry-Cardona, L. F., Restrepo-Franco, A. M., García-Gutiérrez, G. A., Jiménez-García, F. N., & Mora-López, L. (2020). *Energy performance assessment of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic modules in the tropical mountain climate: The case for Manizales-Colombia*. *Energy Reports*, 6, 2828–2835. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.036>
- NASA. (2023). *How Does Our Sun Compare With Other Stars?* <https://spaceplace.nasa.gov/sun-compare/sp/>
- Numai, T., & Numai, T. (2015). *Fundamentals of semiconductor lasers*. Springer.
- Paz Toro, E. M., & Díaz González, E. F. (2021). *Caracterizar variables de temperatura, voltaje, corriente y potencia entre un panel fotovoltaico monocristalino a dos centímetros de la superficie de concreto comparado con un panel en superficie estandar para determinar que sistema es mas eficiente*.
- Peula, A., Liger, I., & Vargas, E. (2014). *Física de Semiconductores. Fundamentos Físicos de Los Semiconductores, 2014*, 1–26.
- Pveducation. (2024). *La radiación solar sobre una superficie inclinada | PVEducation*. <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/la-radiaci%C3%B3n-solar-sobre-una-superficie-inclinada>
- Repsol. (2023). *Todo sobre los semiconductores: tipos y ejemplos*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/semiconductores/index.cshtml>



- Rodríguez-Meza, M. A., & Cervantes-Cota, J. L. (2006). *El efecto fotoeléctrico*.
- Salbidegoitia-García, I. B. (2008). *Energía Solar Solar Solar Energy*. Journal Article, 83(Energía), 561–566.
- Schmidt R., R., Antúnez B., A., & Martínez R., M. (2016). *Aplicaciones de Energía Solar Fotovoltaica en la Agricultura de Zona Áridas*. Boletín INIA N°332, 332, 70.
- SloCable. (2023). *¿Cómo se conectan los cables y conectores del panel solar al módulo fotovoltaico?* <https://www.slocable.com.cn/es/news/how-solar-panel-cables-and-connectors-connect-to-pv-module/>
- SotySolar. (2020). *¿Como se produce, obtiene y genera la energia solar?* SotySolar. <https://Sotysolar.Es/Blog/Como-Se-Produce-La-Energia-Solar>.
- SotySolar. (2023). *La orientación e inclinación de las placas solares*.
- Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the sun. *Search*, 2(5), 172.
- Spiegle, MurrayR., & Stephens, L. J. (2009). Estadística. In *Serie SCHAUM: Vol. 4ta Edicio*.
- The Solar Interior: Observations | Astronomy*. (n.d.). Retrieved November 21, 2023, from <https://courses.lumenlearning.com/suny-astronomy/chapter/the-solar-interior-observations/>
- Valdés, M., Riveros, D., & Aracinbia, R. (2012). *Radiación Solar*. La Radiación Solar.



- Valdivieso Matos, A. M. (2021). *Uso de paneles fotovoltaicos de silicio cristalino para la optimización de la Planta Fotovoltaica de 22 MW en Majes—Arequipa*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7017>
- Vera Mella, N. (2005). *Aspectos Básicos de la Radiación Solar*. Atlas Climático de Irradiación Solar a Partir de Imágenes Del Satélite NOAA. Aplicación a La Península Ibérica, 1971, 143–152.
- Vunnam, S., VanithaSri, M., & Alla, R. (2023). *An outline of solar photovoltaic systems impact on environment*. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(5), 2635-2642. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.5584>
- Wikipedia. (2023). *Sol*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>
- Zapana Marchan, A. J., & Aucchhuaque Mariñas, C. A. (2019). *Estudio comparativo del rendimiento de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos*.
- Žnidarec, M., Šljivac, D., Došen, D., & Dumnić, B. (2019). *Performance assessment of mono and poly crystalline silicon photovoltaic arrays under Pannonian climate conditions*. EUROCON 2019 - 18th International Conference on Smart Technologies. <https://doi.org/10.1109/eurocon.2019.8861631>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO
¿Cuál de los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino presenta un mejor desempeño en sistemas fijos en comparación a la otra, bajo las mismas condiciones ambientales de la ciudad de Puno dentro del área urbana?	Comparar el desempeño de los paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales de la ciudad de Puno en un entorno urbano	Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor desempeño que los sistemas fotovoltaicos policristalino en sistemas fijos bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno en un entorno urbano	Variable independiente: Condiciones ambientales de la ciudad de Puno. Variable dependiente: Paneles fotovoltaicos - Temperatura de superficie	Tipo de estudio: - Aplicada, con un enfoque cualitativo Diseño de la investigación: Diseño no experimental – longitudinal de evolución de grupo (cohortes) Área de estudio: Región Puno Población: Puno Muestra: Instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Instrumentos: - Panel solar de 100 Wp - Accesorios - Equipos de recolección de datos - Tablero de registro Análisis: El análisis se realizará usando hojas de cálculo y SPSS
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
¿Cuál de los sistemas presenta una mejor producción de energía entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?	Analizar cuál de los sistemas presenta una mejor producción de energía entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno	Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una mejor producción de energía que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno	- Potencia - Rendimiento	
¿Cuál de los sistemas presenta un mejor rendimiento entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?	Determinar cuál de los sistemas presenta un mejor rendimiento entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno	Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan un mejor rendimiento que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno		
¿Cuál de los sistemas presenta una menor temperatura entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno?	Comparar cuál de los sistemas presenta una menor temperatura entre los sistemas fotovoltaicos monocristalino y policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno	Los sistemas fotovoltaicos monocristalino presentan una menor temperatura que los sistemas fotovoltaicos policristalino bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Puno		

ANEXO 2. Toma de datos

Potencia (watts) en panel policristalino													
Horas	Meses												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total general
5:00	1.57	0.69						1.00	2.77	5.59	3.46	2.76	
6:00	15.00	10.38	8.81	10.05	6.72	5.51	4.65	8.09	16.22	21.14	28.08	19.83	12.87
7:00	34.02	27.89	26.26	32.61	26.72	27.29	25.69	31.80	40.70	43.00	52.77	39.75	34.04
8:00	52.55	46.23	45.14	53.88	45.93	48.44	47.33	53.84	62.62	63.40	74.10	56.92	54.20
9:00	67.34	60.83	60.25	69.70	61.26	65.24	64.26	70.74	78.72	77.13	87.02	69.68	69.35
10:00	78.17	71.06	70.83	80.98	71.54	75.94	75.57	82.55	89.14	86.21	97.52	78.11	79.81
11:00	81.55	76.44	75.35	84.39	73.44	80.22	80.54	86.03	90.61	88.79	97.91	81.76	83.08
12:00	78.57	74.26	76.76	80.82	68.30	78.40	78.07	82.23	84.62	83.26	93.01	76.75	79.58
13:00	71.94	66.12	70.62	69.50	56.20	69.74	69.36	71.66	73.89	70.96	79.70	63.07	69.38
14:00	58.39	48.64	56.35	52.45	42.85	55.17	55.06	56.57	57.64	54.93	62.59	46.11	53.91
15:00	39.49	30.05	35.36	33.62	27.29	35.85	36.57	37.75	38.47	36.44	41.59	30.76	35.29
16:00	22.48	16.43	17.41	15.24	10.94	14.81	15.92	17.85	18.51	17.57	21.64	16.74	17.13
17:00	8.46	5.45	3.84	1.51	0.66	0.85	1.03	1.75	2.03	2.25	4.12	5.32	3.44
Total general	46.89	42.26	45.58	48.73	43.28	50.15	46.17	50.07	51.75	49.83	57.36	45.25	48.16

Potencia (watts) en panel monocristalino

Horas	Meses												Total general
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
5:00	1.63	0.72						1.04	2.87	5.81	3.59	2.86	
6:00	15.58	10.79	9.15	10.44	6.98	5.73	4.83	8.41	16.85	21.97	29.18	20.60	
7:00	35.35	28.97	27.28	33.88	27.76	28.35	26.69	33.04	42.28	44.68	54.82	41.30	
8:00	54.60	48.03	46.89	55.97	47.72	50.33	49.17	55.94	65.06	65.87	76.98	59.13	
9:00	69.96	63.20	62.59	72.41	63.65	67.78	66.76	73.50	81.79	80.13	90.41	72.39	
10:00	81.22	73.83	73.59	84.13	74.33	78.90	78.52	85.77	92.61	89.56	101.32	81.15	
11:00	84.73	79.42	78.29	87.68	76.30	83.34	83.67	89.39	94.15	92.25	101.72	84.95	
12:00	81.63	77.16	79.75	83.97	70.96	81.46	81.11	85.44	87.91	86.50	96.63	79.74	
13:00	74.74	68.70	73.37	72.21	58.39	72.45	72.07	74.46	76.76	73.73	82.81	65.53	
14:00	60.67	50.53	58.54	54.50	44.52	57.32	57.20	58.78	59.89	57.07	65.03	47.90	
15:00	41.03	31.22	36.73	34.93	28.35	37.25	38.00	39.22	39.97	37.86	43.21	31.95	
16:00	23.35	17.07	18.09	15.84	11.36	15.38	16.54	18.54	19.23	18.25	22.49	17.39	
17:00	8.79	5.66	3.99	1.57	0.69	0.88	1.07	1.82	2.11	2.34	4.28	5.53	
Total general	48.71	43.90	47.36	50.63	44.96	52.11	47.97	52.02	53.77	51.78	59.59	47.01	50.04

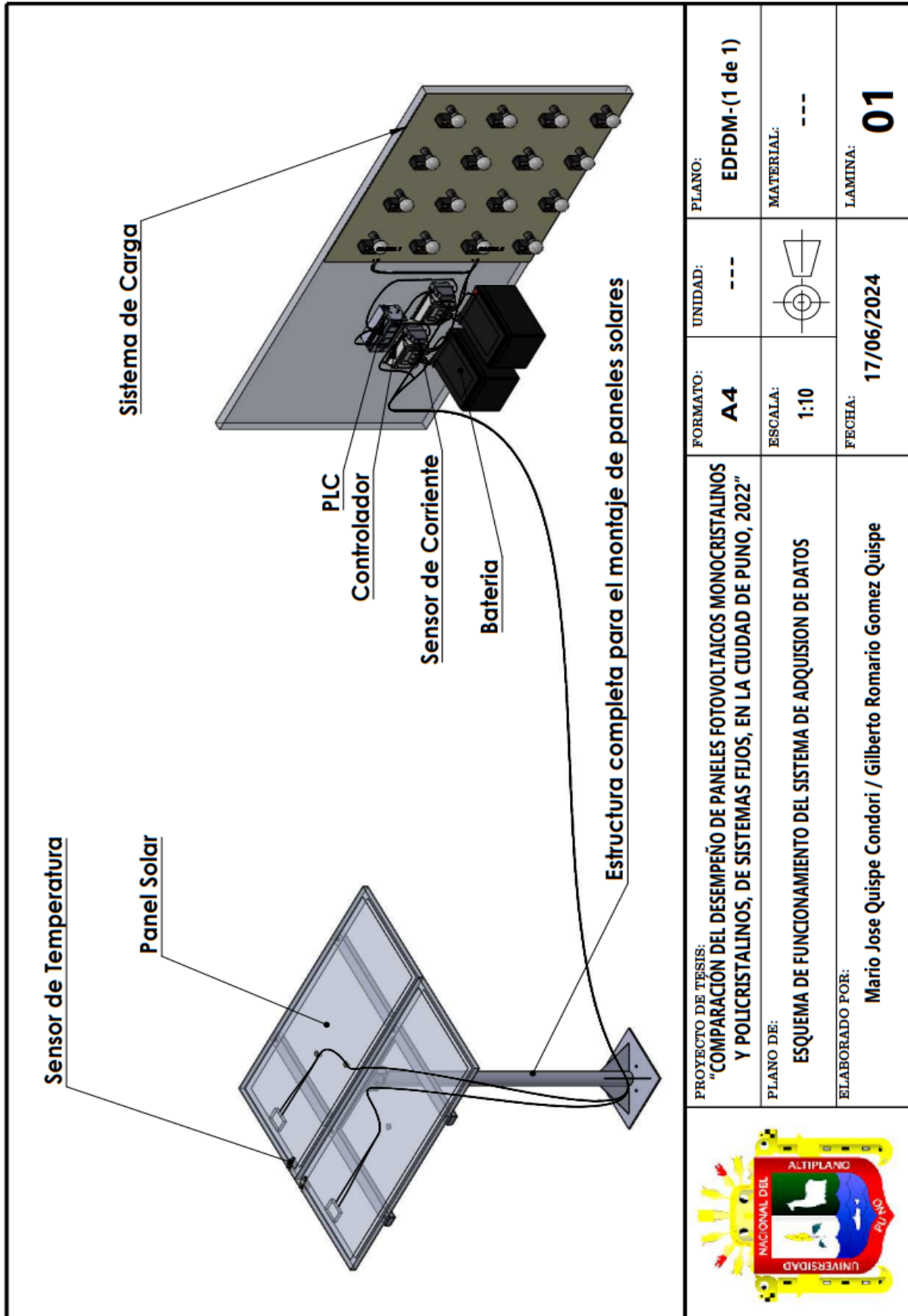
Temperatura en la superficie (°C) del panel policristalino

Horas	Meses												Total general
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
5:00	5.72	4.66							16.45	18.16	17.32	14.91	13.24
6:00	12.04	12.72	13.67	15.64	12.59	12.28	10.42	12.46	18.74	24.05	16.59	14.71	14.66
7:00	20.49	19.64	19.86	23.40	19.32	19.67	17.41	20.23	26.54	30.56	15.94	14.10	20.60
8:00	28.93	27.06	26.76	30.16	25.62	26.59	25.24	27.19	32.95	35.96	14.67	13.00	26.17
9:00	35.81	33.08	32.15	35.27	30.50	32.12	31.30	32.42	36.46	38.19	12.78	11.42	30.11
10:00	40.93	37.43	35.98	38.60	34.11	35.77	35.57	36.31	35.17	33.85	5.65	4.51	31.13
11:00	43.11	39.75	37.67	39.53	35.22	36.62	37.60	37.65	37.10	36.60	7.36	6.30	32.85
12:00	42.76	39.29	38.23	38.41	33.52	35.71	36.92	36.43	37.36	37.42	9.65	8.39	32.82
13:00	40.74	36.55	36.19	35.02	29.49	32.34	34.24	33.18	35.69	35.87	11.97	10.38	30.95
14:00	35.86	30.54	31.25	29.72	25.08	27.16	29.62	28.41	31.52	32.61	13.86	12.01	27.30
15:00	28.54	23.91	23.92	23.33	19.78	20.97	23.16	22.26	25.87	27.92	15.17	13.29	22.34
16:00	21.33	18.70	17.41	17.00	14.06	14.33	15.62	15.84	19.62	22.53	15.99	14.22	17.21
17:00	14.70	14.09	12.39	12.57	10.94	6.64	9.97	10.37	14.22	17.86	16.43	14.73	13.56
Total general	28.54	26.56	27.12	28.22	24.94	26.51	25.59	26.06	28.63	30.12	13.34	11.69	24.68

Temperatura en la superficie (°C) del panel monocristalino

Horas	Meses												Total general
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
5:00	5.74	4.67							16.46	18.20	17.35	14.91	13.26
6:00	12.24	12.86	13.79	15.78	12.68	12.36	10.49	12.57	18.95	24.34	16.61	14.71	14.78
7:00	20.95	20.02	20.21	23.84	19.68	20.03	17.76	20.66	27.09	31.14	15.97	14.10	20.95
8:00	29.64	27.69	27.37	30.89	26.24	27.25	25.88	27.92	33.80	36.81	14.70	13.00	26.76
9:00	36.72	33.90	32.96	36.21	31.33	33.00	32.17	33.38	37.52	39.23	12.82	11.42	30.88
10:00	41.99	38.39	36.93	39.70	35.08	36.79	36.59	37.43	36.37	35.02	5.70	4.51	32.02
11:00	44.22	40.78	38.69	40.67	36.22	37.70	38.68	38.81	38.32	37.80	7.41	6.30	33.77
12:00	43.82	40.29	39.27	39.50	34.45	36.77	37.97	37.54	38.51	38.55	9.70	8.39	33.70
13:00	41.71	37.44	37.15	35.96	30.25	33.28	35.18	34.15	36.69	36.83	12.01	10.38	31.73
14:00	36.65	31.20	32.01	30.43	25.66	27.90	30.36	29.18	32.30	33.35	13.89	12.01	27.91
15:00	29.07	24.32	24.40	23.78	20.15	21.45	23.66	22.77	26.39	28.42	15.19	13.29	22.74
16:00	21.64	18.92	17.65	17.20	14.20	14.53	15.84	16.08	19.87	22.76	16.00	14.22	17.40
17:00	14.81	14.16	12.44	12.59	10.95	6.65	9.98	10.39	14.25	17.89	16.43	14.73	13.59
Total general	29.17	27.13	27.74	28.88	25.52	27.18	26.21	26.74	29.33	30.80	13.37	11.69	25.21

ANEXO 3. Planos



Orientación Norte

15°

15°: Angulo optimo de trabajo de los paneles solares en la provincia de Puno, departamento de Puno, segun Estudios de Investigacion, con orientacion al norte.

	<p>PROYECTO DE TESIS: "COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"</p> <p>PLANO DE: INCLINACIÓN DE ANGULO OPTIMO DE PANELES SOLARES</p> <p>ELABORADO POR: Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe</p>	<p>FORMATO: A4</p> <p>ESCALA: 1:20</p> <p>FECHA: 17/06/2024</p>	<p>UNIDAD: ---</p>	<p>PLANO: IDAPS--(1 de 1)</p> <p>MATERIAL: ---</p> <p>LAMINA: 02</p>
--	---	--	-------------------------------	--

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Estructura plataforma montaje	1
2	Perno hexagonal CG2 64mm x 8mm	1
3	Arandela para perno hexagonal CG2 64mm x 8mm	1
4	Estructura soporte inferior	1
5	Tuerca para perno hexagonal CG2 64mm x 8mm	1
6	Panel Solar Policristalino 100W	1
7	Panel Solar Monocristalino 100W	1
8	Arandela para perno hexagonal CG2 40mmx6mm	8
9	Perno hexagonal CG2 40mmx6mm	8
10	Tuerca para perno hexagonal CG2 40mmx6mm	8

<p>PROYECTO DE TESIS: "COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"</p> <p>PLANO DE: DESPIECE DE ESTRUCTURA COMPLETA PARA EL MONTAJE DE PANELES SOLARES</p> <p>ELABORADO POR: Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe</p>	<p>FORMATO: A4</p>	<p>UNIDAD: ---</p>	<p>PLANO: DDECPS-(1 de 1)</p>
	<p>ESCALA: 1:10</p>		<p>LAMINA: ---</p>
	<p>FECHA: 17/06/2024</p>	<p>LAMINA: 03</p>	

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base de anclaje	1
2	Cilindro	1
3	Union inferior	1
4	SopORTE triangular	4

PROYECTO DE TESIS:
"COMPARACION DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"

PLANO DE:
CONJUNTO DE ESTRUCTURA SOPORTE INFERIOR

ELABORADO POR:
Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe

FORMATO:
A4

ESCALA:
1:20

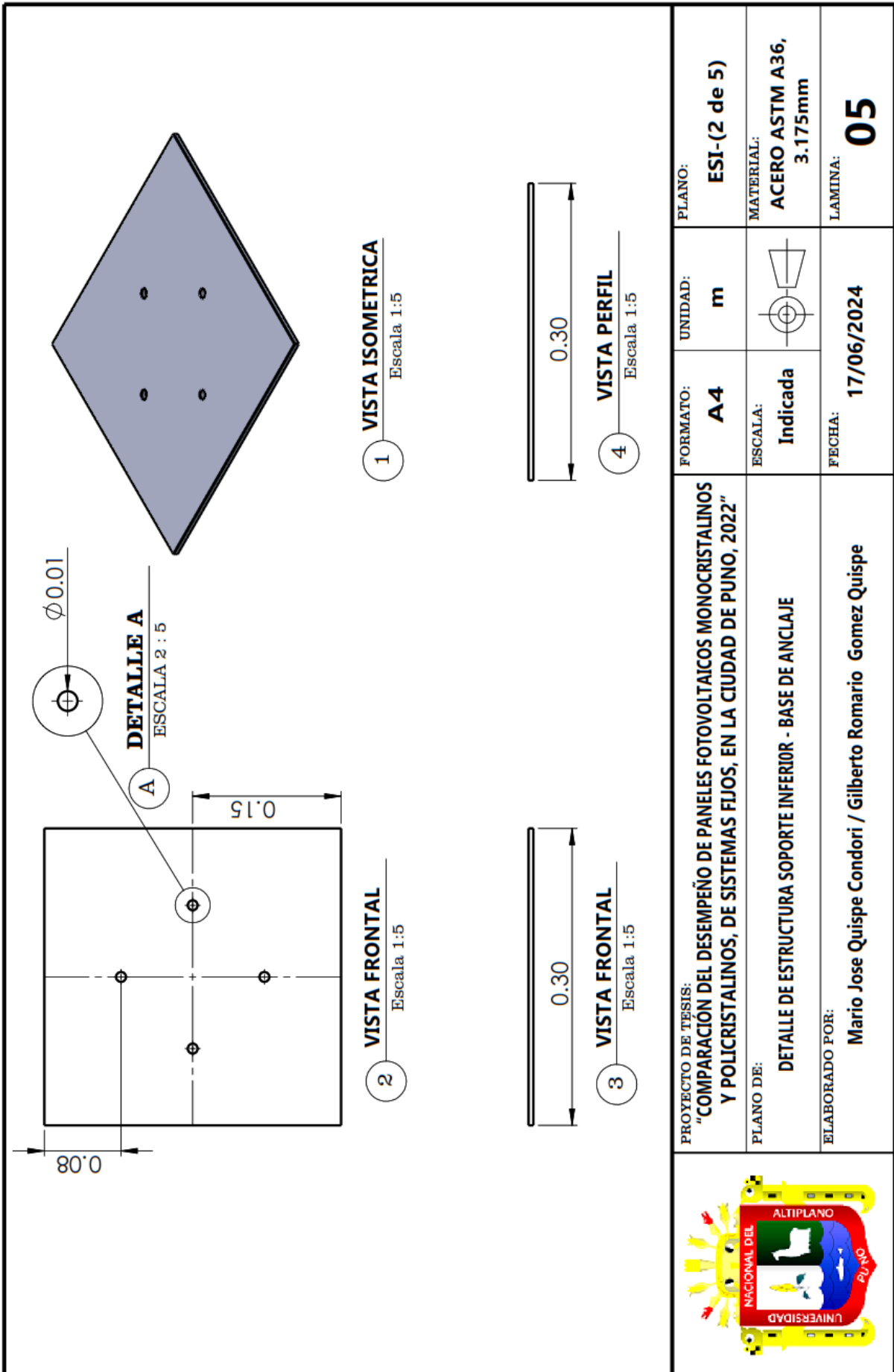
FECHA:
17/06/2024

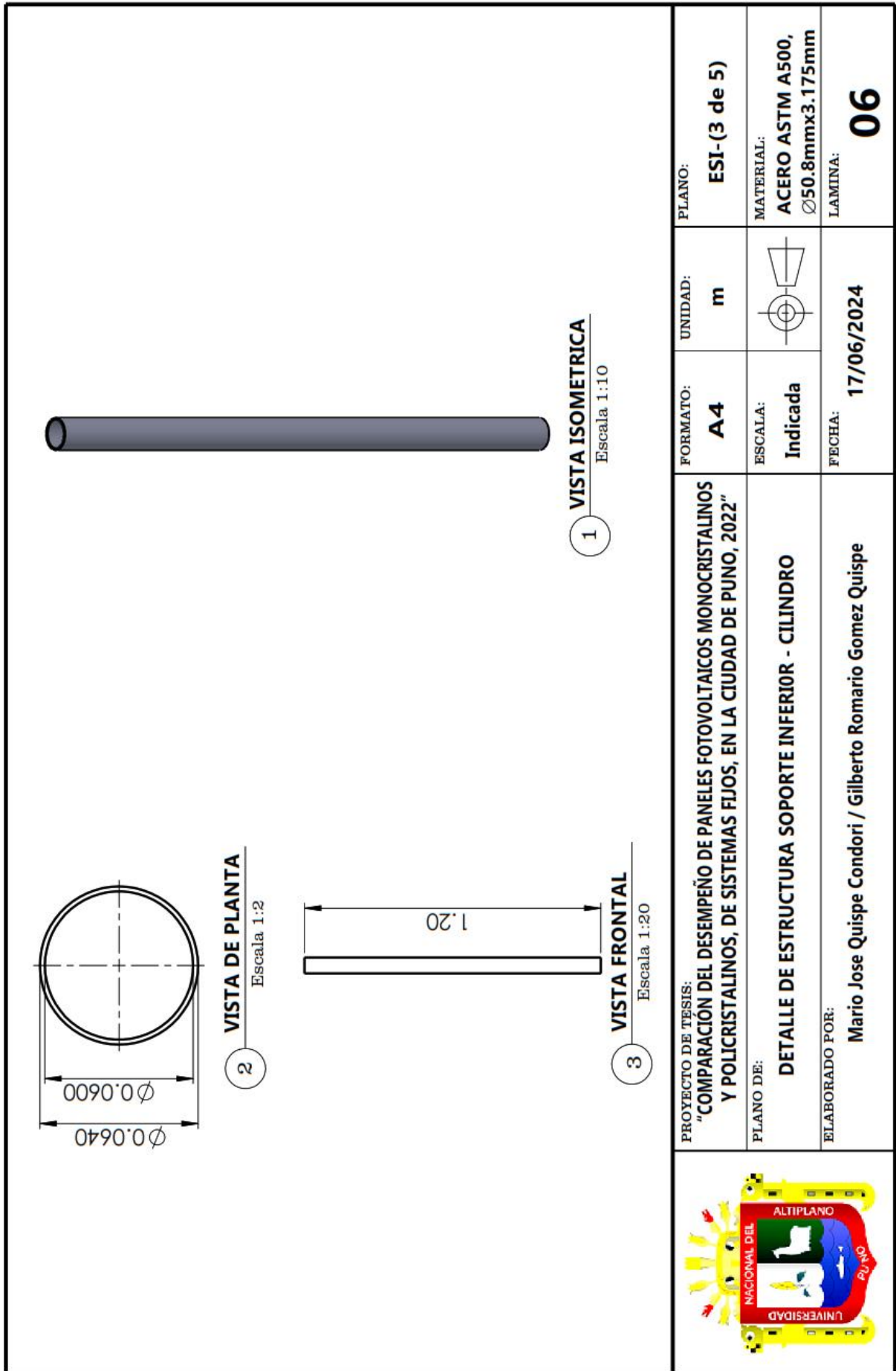
UNIDAD:

PLANO:
ESI-(1 de 5)

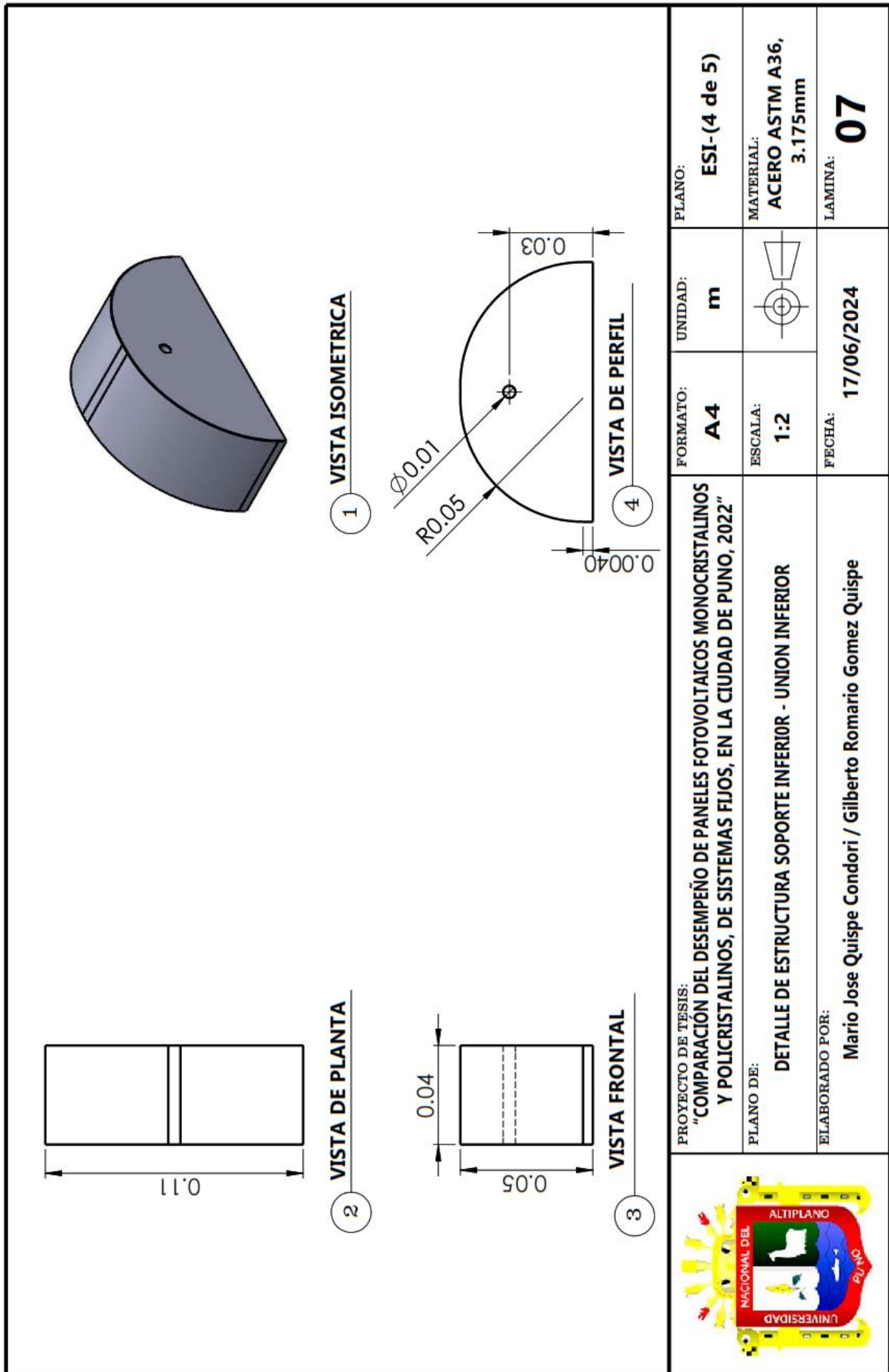
MATERIAL:

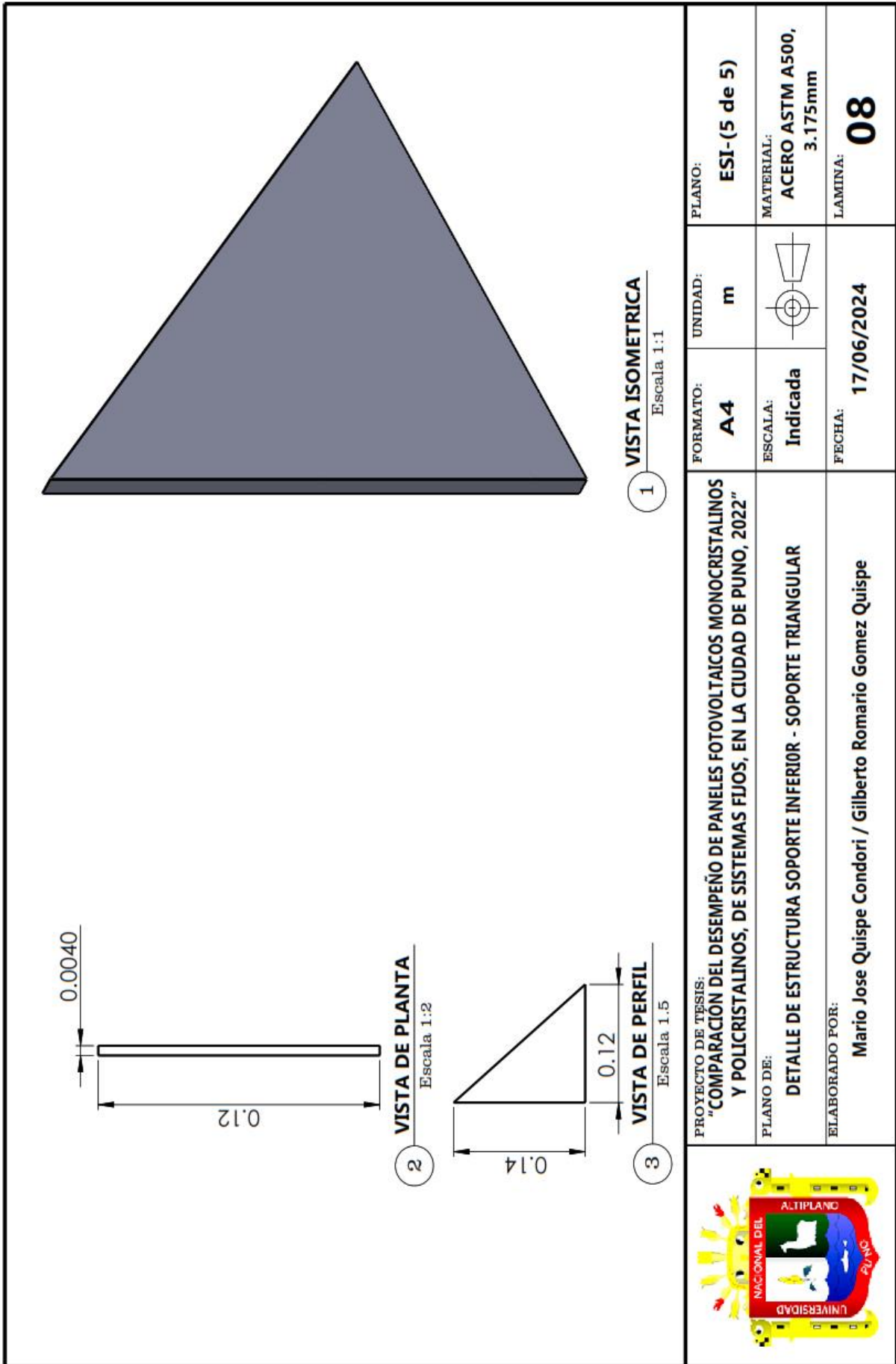
LAMINA:
03



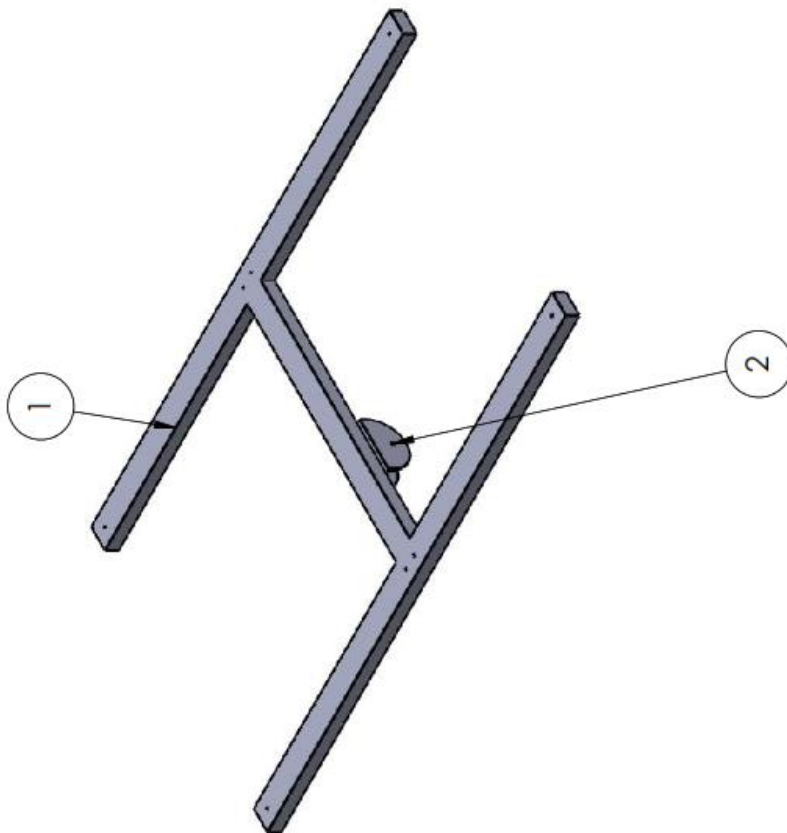



	PROYECTO DE TESIS: "COMPARACION DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"	FORMATO: A4	UNIDAD: m	PLANO: ESI-(3 de 5)
	PLANO DE: DETALLE DE ESTRUCTURA SOPORTE INFERIOR - CILINDRO	ESCALA: Indicada		MATERIAL: ACERO ASTM A500, Ø50.8mmx3.175mm
ELABORADO POR: Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe		FECHA: 17/06/2024	LAMINA: 06	

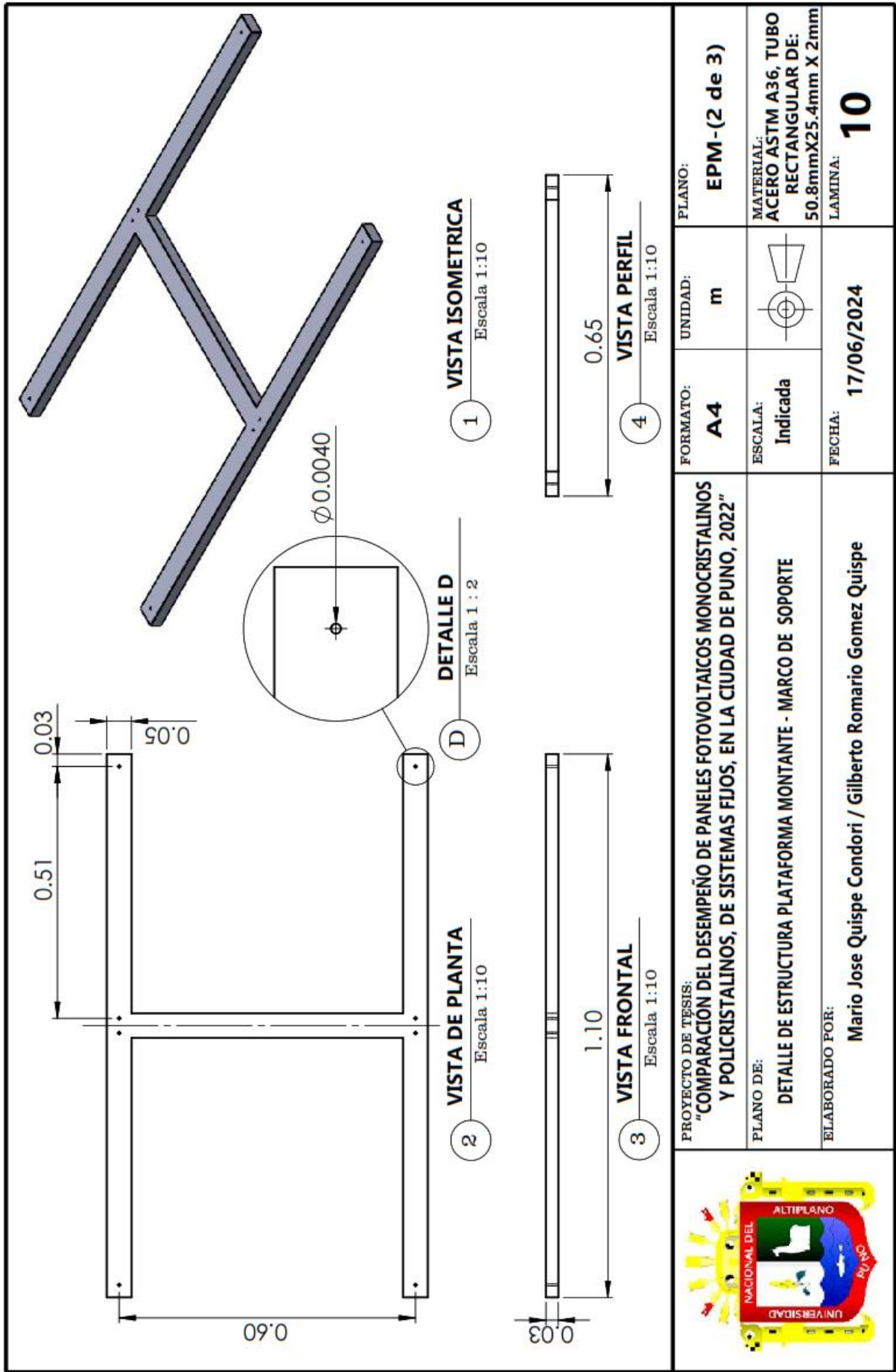


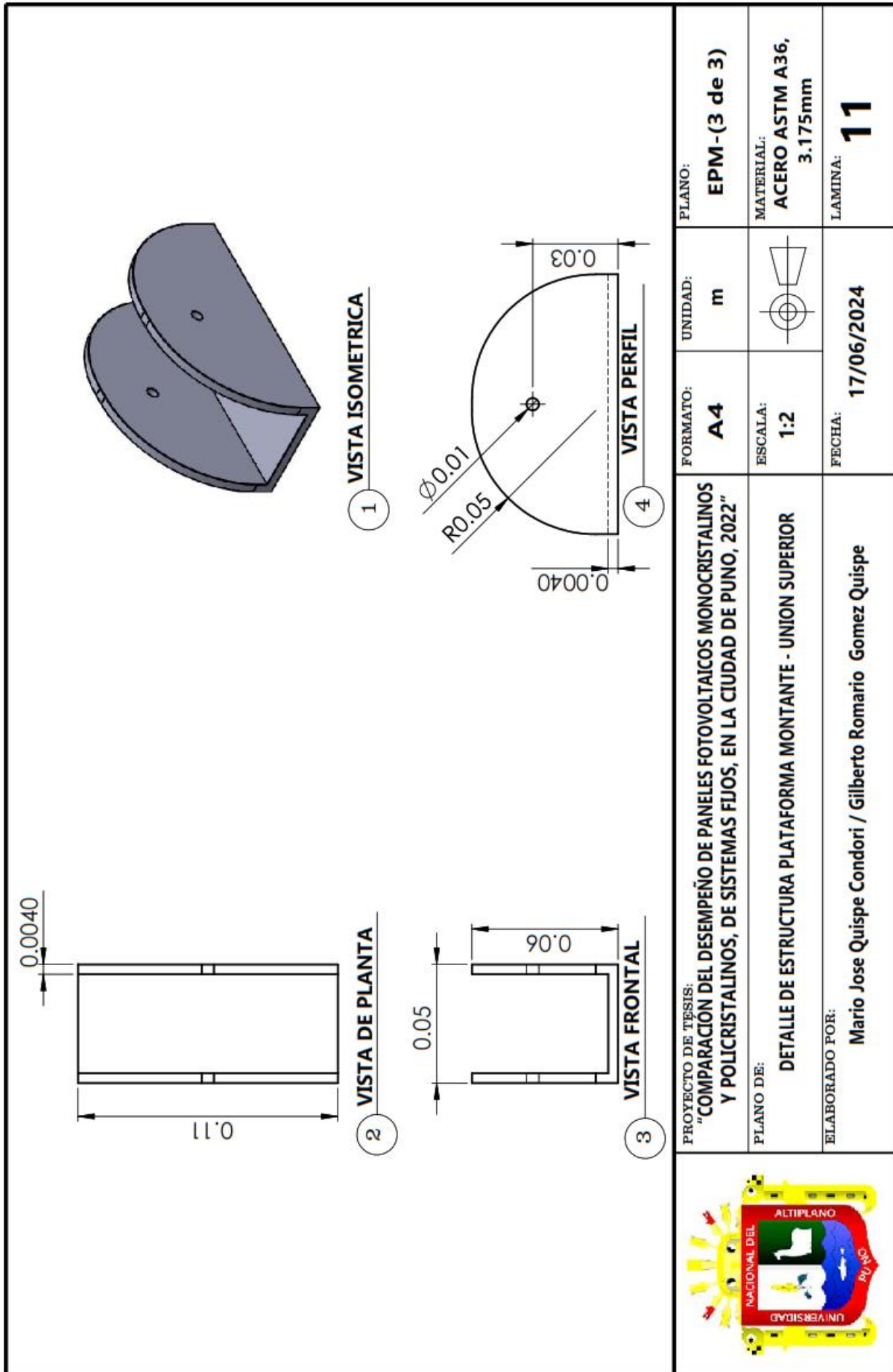


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Marco de soporte	1
2	Union superior	1





	PROYECTO DE TESIS: "COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"			PLANO: EPM-(1 de 3)
	PLANO DE: CONJUNTO DE ESTRUCTURA PLATAFORMA MONTANTE	FORMATO: A4	UNIDAD: ---	MATERIAL: ---
	ELABORADO POR: Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe	ESCALA: 1:10	FECHA: 17/06/2024	LAMINA: 09





	PROYECTO DE TESIS: "COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS, DE SISTEMAS FIJOS, EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022"		PLANO: EPM - (3 de 3)
	PLANO DE: DETALLE DE ESTRUCTURA PLATAFORMA MONTANTE - UNION SUPERIOR		MATERIAL: ACERO ASTM A36, 3.175mm
ELABORADO POR: Mario Jose Quispe Condori / Gilberto Romario Gomez Quispe		ESCALA: 1:2	LAMINA: 11
		FECHA: 17/06/2024	
		FORMATO: A4	UNIDAD: m

ANEXO 4. Especificaciones técnicas

POLY-CRYSTALLINE SOLAR MODULE	
SL100-P36	
	
	
Module Type	SL100-P36
Peak Power(Pmax)	100W
Power Tolerance	±3%
Cell Type	Poly-Crystalline Silicon, 156mm×156mm
Number of Cells	36 cells in series
Weight	8.5 kg
Dimensions	1200×540×35mm
Maximu Power Voltage (Vmp)	17.8V
Maximu Power Current (Imp)	5.61A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.6V
Short Circuit Current (Isc)	6.17A
Cell Efficiency	15.40%
Module Efficiency	14.00%
Maximu System Voltage	DC 1000V(TUV)/600V(UL)
Temp.Coeff.of Isc(TKIsc)	0.037%/°C
Temp.Coeff.of Voc(TKVoc)	-0.34%/°C
Temp.Coeff.of Pmax(TKPmax)	-0.48%/°C
Normal Operting Cell Temperature	45±2°C
Glass Thickness	3.2 mm
Static Loading	≤5400Pa
Cable Cross Section Size	4mm ²
Warranty	25 years 90% and 30 years 80% of power warranty
www.sunlakepv.com	

SL100-M36



Module Type	SL100-M36
Peak Power(Pmax)	100W
Power Tolerance	±3%
Cell Type	Mono-Crystalline Silicon, 156mm×156mm
Number of Cells	36 cells in series
Weight	7.2 kg
Dimensions	1200×540×35mm
Maximu Power Voltage (Vmp)	17.8V
Maximu Power Current(Imp)	5.62A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.6V
Short Circuit Current (Isc)	6.18A
Cell Efficiency	16.20%
Module Efficiency	15.00%
Maximu System Voltage	DC 1000V(TUV)/600V(UL)
Temp.Coeff.of Isc(TKIsc)	0.037%/°C
Temp.Coeff.of Voc(TKVoc)	-0.34%/°C
Temp.Coeff.of Pmax(TKPmax)	-0.48%/°C
Normal Operting Cell Temperature	45±2°C
Glass Thickness	3.2 mm
Static Loading	≤5400Pa
Cable Cross Section Size	4mm ²
Warranty	25 years 90% and 30 years 80% of power warranty

www.sunlakepv.com



ANEXO 5. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Mario Jose Quispe Condori
identificado con DNI 70415894 en mi condición de egresado de:
 Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Comparación del desempeño de paneles fotovoltaicos monocristalinos
y policristalinos, de sistemas fijos, en la ciudad de Puno, 2022
"

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto 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 22 de JULIO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Gilberto Romario Gomez Quipe
identificado con DNI 71727995 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

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

"Comparación del desempeño de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, de sistemas fijos, en la ciudad de Puno, 2022."

Es un tema original.

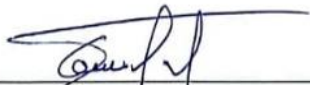
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto 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 22 de Julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 6. 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, Yo Maño José Quispe Condoni
identificado con DNI 7045824 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Mecánica Eléctrica

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

"Comparación del desempeño de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, de sistemas fijos, en la ciudad de Puno, 2022."

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

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular 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, doy 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.

Autorizo 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.

Autorizo 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, suscribo el presente documento.

Puno 22 de Julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Gilberto Romario Gomez Quispe,
identificado con DNI 71727995 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Mecánica Eléctrica

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

“ Comparación del desempeño de paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, de sistemas fijos, en la ciudad de Puno, 2022. ”

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

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular 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, doy 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.

Autorizo 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.

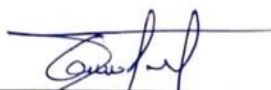
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de 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.

Autorizo 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, suscribo el presente documento.

Puno 22 de Julio del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella