



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO
ALIMENTADO CON ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA LA
COMUNIDAD CAMPESINA MOLINO KAPIA, DISTRITO DE
ZEPITA, PUNO, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SHADAM JESÚS SERRANO RIVERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE
AGUA PARA RIEGO ALIMENTADO CON
ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA LA COM
UNIDAD CAMPESINA MOLINO KAPIA, DI
STRITO DE ZEPITA, PUNO, 2023

AUTOR

Shadam Jesus Serrano Rivera

RECuento DE PALABRAS

15053 Words

RECuento DE CARACTERES

84368 Characters

RECuento DE PÁGINAS

108 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 19, 2024 9:13 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 19, 2024 9:15 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
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)
- Material citado


Dr. Roberto Alfaro Alejo
DOCENTE UNA PUNO


Dr. EDUARDO VELARDE COQUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - Puno

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, por su infinito amor.

A mis queridos padres Atanacio Serrano Perca y Juana Rivera Poma por brindarme su apoyo incondicional durante esta etapa mi vida académica, que han estado en los momentos que más los he necesitado, Por haberme brindado buenos valores para enfrentarme a la vida.

A mis familiares, a mis hermanos Amparo, Sonia, Nélide y José Luis y todos los familiares por su apoyo incondicional.

Shadam Jesús Serrano Rivera



AGRADECIMIENTOS

De mi especial gratitud:

Ante todo, agradezco a Dios por darme vida y ser mi guardián, en todo momento más difícil y esperanza.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por darme la dicha de formarme profesionalmente.

Expreso mi especial y sincero agradecimiento al Dr. Roberto Alfaro Alejo por dirigir esta investigación. Por las observaciones y sus contribuciones oportunas, críticas que posible la culminación de este trabajo.

También quiero agradecer a todos los miembros del jurado evaluador por las sugerencias y la revisión de esta investigación.

Gracias a todos.

Shadam Jesús Serrano Rivera



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problema específico	19
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Hipótesis general	19
1.3.2. Hipótesis específicas	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	20
1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Objetivo general	20
1.5.2. Objetivos específicos	21



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	22
2.1.1.	A nivel internacional	22
2.1.2.	A nivel nacional	25
2.1.3.	A nivel local	28
2.2.	MARCO TEORICO	31
2.2.1.	Energía fotovoltaica	31
2.2.2.	Paneles solares fotovoltaicos.....	31
2.2.3.	Sistemas de bombeo de agua.....	31
2.2.4.	Tecnología fotovoltaica y sistemas de bombeo de agua	32
2.2.5.	Dimensionamiento y diseño de sistemas de bombeo	33
2.2.6.	Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos	33
2.2.7.	Eficiencia energética	34
2.2.8.	Gestión del riego y uso eficiente del agua	34
2.2.9.	Impacto socioeconómico y ambiental	34
2.2.10.	Optimización de la eficiencia energética	34
2.2.11.	Análisis económico y viabilidad financiera	35
2.2.12.	Gestión y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos	35
2.2.13.	Experiencias y casos de estudio	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.2.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	39
3.2.1.	Mediciones in situ	39



3.2.2.	Análisis de datos climáticos	39
3.2.3.	Revisión documental	39
3.2.4.	Observación participante	40
3.3.	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.3.1.	Tipo de investigación	40
3.3.2.	Nivel de investigación:	40
3.3.3.	Justificación	40
3.3.4.	Diseños de la investigación	41
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.4.1.	Población	42
3.4.2.	Muestra	43
3.4.3.	Muestreo	43
3.4.4.	Diseño de muestreo:	44
3.4.5.	Variables de estudio	44
3.4.5.1.	Variable independiente:	44
3.4.5.2.	Variable dependiente:	44
3.4.6.	Delimitación temporal	44
3.4.7.	Delimitación espacial	44
3.5.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	45
3.5.1.	Determinación de la radiación solar existente en la comunidad campesina Molino Kapia	45
3.5.2.	Dimensionamiento del sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica	49



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RADIACIÓN SOLAR EN MOLINO KAPIA.....	54
4.2. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE BOMBEO PARA RIEGO ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA	59
4.3. DISCUSIÓN	78
V. CONCLUSIONES	83
VI. RECOMENDACIONES	85
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	93

Área : Ciencias de la Ingeniería

Línea : Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Medida de la radiación solar horaria (W/m^2) y acumulada (MJ/m^2)	57
Tabla 2 Información meteorológica	59
Tabla 3 Calendario de cultivo	60
Tabla 4 Coeficientes K_c de cultivos	60
Tabla 5 Método de Hargreaves en base a la temperatura	61
Tabla 6 Prueba de infiltración	62
Tabla 7 Estimación de la carga	66
Tabla 8 Cálculo de presión.....	73



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Sistema de bombeo con panel solar	32
Figura 2 Sistema hidráulico para un sistema de riego	33
Figura 3 Sistema de bombeo con panel solar y los diferentes usos	35
Figura 4 Mapa de ubicación de la comunidad de Molina	38
Figura 5 SM206 Medidor de irradiancia de energía solar digital.....	46
Figura 6 HoldPeak HP-866B-APP Anemómetro digital de mano	49
Figura 7 Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado	58
Figura 8 Curva de infiltración – Tiempo acumulado versus velocidad de infiltración promedio	63
Figura 9 Mapa del recurso solar	66
Figura 10 Características del panel solar.....	69
Figura 11 Plano de la distribución hidráulica.....	77
Figura 12 Vista de la zona de riego	94
Figura 13 Vista de la fuente de agua	94
Figura 14 Vista de la prueba de infiltración	95
Figura 15 Vista del levantamiento topográfico	95
Figura 16 Vista del levantamiento topográfico – fuente de agua.....	96
Figura 17 Vista del punto de estación para el levantamiento topográfico	96



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Panel fotográfico.....	94
ANEXO 2 Precipitación mensual.....	97
ANEXO 3 Velocidad del viento.....	98
ANEXO 4 Humedad relativa.....	98
ANEXO 5 Potencia fotovoltaica en el sitio web Atlas Solar Global	99
ANEXO 6 Plano de distribución del sistema de riego	101
ANEXO 7 Especificaciones técnicas de la bomba de agua.....	102
ANEXO 8 Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.....	104
ANEXO 9 Cálculo de la bomba de agua.....	106



ACRÓNIMOS

DC	: Direct Current (Corriente Continua)
IR	: Infrarrojo
ISO	: Organización Internacional de Normalización)
kWh/m²	: Kilovatios hora por metro cuadrado
MW	: Megawatt (Megavatio)
UV	: Ultravioleta
W	: Watt (Watio)
Wh	: Watt-hour (Watio-hora)



RESUMEN

La escasez de agua para los cultivos requiere su optimización, lo cual implica la ampliación de áreas de riego y la mejora en la aplicación del agua. El objetivo de esta investigación fue diseñar un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, en 2023. La metodología empleada fue de tipo no experimental, de corte transversal, aplicada y descriptiva. Se utilizaron equipos topográficos para determinar el área de riego y se obtuvieron datos de radiación solar de fuentes existentes. Además, se realizaron pruebas de infiltración. La investigación sobre la radiación solar en la zona proporcionó datos cruciales para dimensionar el sistema de bombeo de manera eficiente y sostenible. Se determinó que, con una bomba de 2 HP y un consumo de 1000 vatios, considerando 5 horas efectivas de sol, el arreglo fotovoltaico diseñado produce los 5000 vatios necesarios para el bombeo de agua mediante el sistema de riego por aspersión. Este proyecto demuestra la viabilidad y la relevancia de aplicar soluciones de energía renovable en comunidades rurales, promoviendo la mejora de la calidad de vida y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. La implementación de este proyecto integraría fuentes de energía renovable en el diseño de sistemas de bombeo de agua para riego en entornos rurales, utilizando un caudal de 2 litros por segundo para irrigar un área de 0.60 hectáreas, representando así un prototipo familiar viable y eficiente.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, radiación solar, riego por aspersión, dimensionamiento FV, riego presurizado



ABSTRACT

The scarcity of water for crops requires its optimization, which implies the expansion of irrigation areas and the improvement of water application. The objective of this research was to design an irrigation water pumping system powered by photovoltaic energy for the peasant community Molino Kapia, district of Zepita, Puno, in 2023. The methodology used was non-experimental, cross-sectional, applied and descriptive. Topographic equipment was used to determine the irrigation area and solar radiation data were obtained from existing sources. In addition, infiltration tests were conducted. The detailed study on solar radiation in the area provided crucial data for sizing the pumping system in an efficient and sustainable manner. It was determined that, with a 2 HP pump and a consumption of 1000 watts, considering 5 effective hours of sunshine, the designed photovoltaic array produces the 5000 watts needed to pump water through the sprinkler irrigation system. This project demonstrates the feasibility and relevance of applying renewable energy solutions in rural communities, promoting the improvement of the quality of life and the adoption of sustainable agricultural practices. The implementation of this project would integrate renewable energy sources in the design of water pumping systems for irrigation in rural environments, using a flow rate of 2 liters per second to irrigate an area of 0.60 hectares, thus representing a viable and efficient family prototype.

Keywords: photovoltaic energy, solar radiation, sprinkler irrigation, PV sizing, pressurized irrigation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La comunidad campesina Molino Kapia, ubicada en el distrito de Zepita, Puno, enfrenta una problemática significativa relacionada con la escasez de agua para riego agrícola. Esta situación afecta la productividad de los cultivos y, en consecuencia, la calidad de vida de los agricultores. La falta de un sistema eficiente de bombeo de agua y la dependencia de fuentes de energía no renovables agravan esta situación, limitando la expansión de las áreas de riego y la optimización en el uso del agua disponible.

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y la necesidad imperante de encontrar soluciones sostenibles para las demandas hídricas en zonas agrícolas, el presente estudio se centra en el diseño de un sistema de bombeo de agua para riego, alimentado exclusivamente por energía fotovoltaica. Esta investigación se desarrolla con el objetivo primordial de abordar las dificultades que enfrenta la comunidad campesina Molino Kapia, localizada en el distrito de Zepita, Puno, durante el año 2022.

La comunidad de Molino Kapia se caracteriza por ser una comunidad de recursos económicos sumamente limitados, lo cual ha restringido su acceso a sistemas de bombeo convencionales, ya sean impulsados por energía eléctrica o combustibles fósiles (Eslamian & Eslamian, 2023). Esta situación ha generado una dependencia vulnerable a las condiciones climáticas, especialmente en temporadas de sequía, afectando la producción agrícola y la disponibilidad de alimento para el ganado, elementos fundamentales en la subsistencia y economía de la comunidad (Goyal & Singh, 2017).

Ante este panorama, la utilización de la energía fotovoltaica se presenta como una alternativa viable y sostenible (He, 2023). La captación de energía solar, a través de



paneles fotovoltaicos, ofrece la posibilidad de impulsar el sistema de bombeo de agua de manera autónoma y sin la emisión de gases contaminantes, reduciendo así la huella ecológica y contribuyendo a la mitigación del cambio climático (Dierwechter, 2021).

Este proyecto no solo tiene como propósito suplir las necesidades de riego de cultivos forrajeros, sino también de proporcionar una fuente confiable de agua para el ganado en periodos críticos. Se busca, de esta manera, incrementar la resiliencia de la comunidad frente a adversidades climáticas, fortaleciendo su seguridad alimentaria y fomentando la estabilidad económica.

A través de un proceso de investigación metódico y una planificación detallada, se pretende demostrar la viabilidad y eficacia de esta propuesta, teniendo como horizonte la mejora sustancial de las condiciones de vida y la productividad agrícola en Molino Kapia. Además, se aspira a que este proyecto sirva como un modelo replicable en otras comunidades con desafíos similares, contribuyendo así a la difusión y adopción de tecnologías eco-amigables en zonas rurales (Volpi et al., 2006). El éxito de esta iniciativa no solo beneficiaría a la comunidad de estudio, sino que también tendría un impacto positivo en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y en la conservación del entorno natural que nos rodea (Nyberg et al., 2022; Revueltas et al., 2020).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la generación de energía destinada a impulsar los sistemas de bombeo en zonas rurales se basa mayormente en la combustión de combustibles fósiles. Esta práctica, si bien brinda una solución inmediata, conlleva una grave consecuencia ambiental: la emisión de significativas cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo de manera directa al calentamiento global del planeta (Cruz &



Núñez, 2014; Klemeš, 2022). Además, persiste la prevalencia del uso de combustibles fósiles y energía eléctrica convencional, lo que a lo largo del tiempo se traduce en elevados costos y bajos niveles de rentabilidad (Hahn et al., 2023).

En contraposición, surge la promisorio alternativa de los sistemas de bombeo alimentados por energía solar, los cuales presentan una serie de ventajas notables, destacando el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y energéticos en zonas destinadas al riego. Es por ello que la implementación de esta tecnología se extiende progresivamente (Distefano, 2020; King, 2021).

A nivel nacional, es común el empleo de motores de combustión interna y bombas hidráulicas en pozos tubulares o a cielo abierto para extraer agua subterránea destinada a la agricultura de riego. No obstante, debido a su tamaño y a la dependencia de combustibles fósiles (petróleo, gasolina), su mantenimiento resulta costoso tanto en la adquisición, operación y mantenimiento. Más aún, la emisión de gases tóxicos durante la combustión de estos combustibles contribuye a la contaminación del aire local (CO₂, SO₂, NO_x, Pb) (UNESCO, 2021).

En las zonas rurales de la sierra del país, específicamente, se manifiesta un persistente desafío en cuanto a la disponibilidad de agua y energía. La necesidad de una red eléctrica para el transporte de agua hacia áreas de riego se vuelve una barrera insostenible dada la limitada economía de la población, lo cual encarece considerablemente el bombeo hacia reservorios para su posterior distribución (Woodmansee et al., 2021).

Esta problemática no es ajena a la región de Puno, y en particular, a la comunidad campesina Molino Kapia en el distrito de Zepita. Aunque cuentan con acceso a energía



eléctrica, los pobladores se encuentran en una situación económica precaria, lo que impide la operatividad de un sistema de bombeo de agua para el riego de sus cultivos. Este escenario se traduce en la vulnerabilidad de los cultivos forrajeros, cruciales para la alimentación del ganado en temporadas de sequía. Todo esto, derivado de la inaccesibilidad económica para implementar un sistema de bombeo convencional (eléctrico o a combustión). Además, al encontrarse las áreas agrícolas distantes de las viviendas, estas están supeditadas a las temporadas de avenida para su desarrollo pleno.

En este contexto, se hace evidente la necesidad de una solución sostenible que garantice la seguridad alimentaria y energética de la comunidad. La conversión fotovoltaica de la energía solar para impulsar las bombas de agua se perfila como una tecnología emergente con inmensos desafíos, pero también como una alternativa ambientalmente favorable frente a las bombas de agua convencionales que operan con combustibles fósiles (diésel y electricidad) (Ashby, 2023; Klemeš, 2022).

Dado este escenario, surgen las siguientes interrogantes que nos guio el desarrollo de la presente investigación:

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

El desarrollo de la investigación que se ha planteado son las siguientes interrogantes:

¿Como es el diseño de un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023?



1.2.2. Problema específico

¿Cuánto es la radiación solar existente en la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023?

¿Cómo dimensionar el sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para la comunidad campesina de Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La utilización de energía fotovoltaica como fuente de alimentación para el sistema de bombeo de agua en la comunidad campesina Molino Kapia será una alternativa rentable y ambientalmente sostenible en comparación con fuentes de energía convencionales.

1.3.2. Hipótesis específicas

La radiación solar en la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, cumple con los requisitos necesarios para el funcionamiento eficiente de un sistema de bombeo de agua alimentado por energía fotovoltaica.

El dimensionamiento óptimo del sistema de riego por bombeo, que utilice energía solar (fotovoltaica) en la comunidad campesina Molino Kapia, permitirá una distribución eficaz y sostenible del recurso hídrico para actividades agrícolas.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se justifica debido a que, las familias que habitan en la comunidad campesina Molino Kapia del distrito de Zepita; en temporada de sequía sufren los estragos de la falta de forraje para la alimentación de sus ganados; conllevando a generarles problemas de desnutrición y por ende una falta de ingresos hacia las familias; además de ello las familias no cuentan con recursos naturales; ante ello se pretende realizar el diseño de un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para suplir y cubrir toda la demanda esencial en el área en estudio, buscando promover y aumentar el desarrollo social y económico, mediante su implementación por parte de las entidades competentes.

Según Gupta et al. (2023), el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola contribuye significativamente con el medio ambiente, así como la reducción de gases contaminantes producidos por usar combustibles fósiles. La necesidad de combustibles fósiles y sus emisiones asociadas. Además, el uso de tecnologías de módulos fotovoltaicos promueve prácticas agrícolas sostenibles, ofreciendo beneficios económicos sin dañar el medio ambiente.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023.



1.5.2. Objetivos específicos

Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023

Dimensionar el sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica para la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, 2023



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Al respecto, se han realizado estudios sobre sistemas de riego por bombeo con paneles solares, así como investigaciones similares. Además, existen estudios relacionados con sistemas de riego por aspersión a nivel local y regional, los cuales se detallan a continuación:

2.1.1. A nivel internacional

Según Munive and Pereira (2022), se realizó un estudio, con el objetivo de diseñar un sistema de riego por goteo alimentado por energía solar. El proceso se dividió en tres etapas. Se analizaron las necesidades agronómicas, de agua y de diseño, incluyendo la radiación solar y las características del área. Identificación de Componentes: Se determinaron los componentes del sistema, requiriéndose 2 paneles de 330 W y 2 baterías de 100 Ah para alimentar la bomba. Estudio de factibilidad y costo, en donde se evaluó la viabilidad técnica y económica del proyecto, demostrando que el sistema fotovoltaico es más eficiente y rentable que el sistema basado en gasolina, con un retorno de la inversión de aproximadamente dos años. El estudio concluyó que el sistema de bombeo fotovoltaico es una solución eficiente, sostenible y económicamente viable para el riego agrícola en la región.

Según Sangucho and Villacis (2021), en el artículo científico se describe la implementación de un sistema de bombeo de agua alimentado por energía solar



para riego por goteo en tres invernaderos de tomate riñón con áreas de 3000 m², 2000 m² y 1300 m², respectivamente. La metodología empleada fue experimental y de campo, y se propuso un sistema de bombeo para abastecer de agua a los invernaderos, que carecían del líquido esencial. Se utilizaron tres paneles solares, tres baterías de acumulación y un regulador de carga para controlar el proceso de carga. Tras la implementación, el sistema demostró ser funcional, con la bomba arrancando normalmente con una corriente de 6 A y alcanzando una corriente máxima de 34 A desde los paneles.

Según Hospital and González (2021), en el trabajo de investigación, se diseñó un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica para beneficiar al municipio de Chaguaní, en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Se creó un sistema de bombeo de pozo profundo alimentado por paneles solares fotovoltaicos y un control de nivel electrónico en el tanque de agua para indicar cuando el depósito está lleno. El objetivo fue identificar los mejores componentes para asegurar la operación del sistema y abastecer de agua a la zona rural de Chaguaní. El sistema fotovoltaico diseñado es autónomo y capaz de satisfacer toda la demanda de energía requerida por el sistema de bombeo.

Según Vargas and Castillo (2018), se realizó una investigación con el propósito de diseñar un sistema fotovoltaico para el riego de 10,000 m², beneficiando a 10 familias dedicadas al cultivo de hortalizas y legumbres, que constituyen su fuente de ingreso económico. El proyecto es ideal para la zona, donde actualmente se usa un sistema de riego por gravedad con canales rústicos. Se busca suministrar agua menos contaminada y más constante, especialmente durante las sequías estacionales. También aborda el problema del alto costo y la



prohibición del uso de electricidad tradicional, proporcionando agua durante 20 años, la vida útil del sistema fotovoltaico, que depende únicamente de la radiación solar y el clima. Los estudios técnicos indicaron que no se necesitan grandes caudales de agua debido al tamaño pequeño de las parcelas de cultivo.

En Aldea remota en Jordania, se ha realizado la investigación por Khatib y Lougou (2015), con el objetivo de determinar el tamaño óptimo de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico autónomo. La metodología usada fue el modelado matemático y simulación de diferentes configuraciones del sistema. Encontrando como resultados la identificación de la configuración óptima del sistema que maximiza la eficiencia y minimiza los costos. Finalmente, la implementación de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos es viable y beneficiosa para comunidades rurales en Jordania.

En Egipto, se ha realizado un estudio por Ghoneim (2006), con el objetivo de optimizar el diseño de sistemas de bombeo de agua alimentados por energía fotovoltaica. Siguiendo la metodología como es el modelado de diferentes configuraciones y análisis económico. Como resultados se desarrollaron configuraciones óptimas que mejoraron la eficiencia y redujeron los costos. Finalmente, la optimización del diseño de estos sistemas puede aumentar su viabilidad en aplicaciones rurales.

En India, se ha desarrollado la investigación por Kumar y Kaushik (2005), con el objetivo de analizar el rendimiento de un sistema de bombeo de agua operado con energía solar. La metodología usada fue la instalación de un sistema piloto y medición de su desempeño. El resultado encontrado fue el sistema



demonstró ser eficiente y sostenible. Finalmente, los sistemas de bombeo solares son una solución viable para el riego en áreas rurales de India.

2.1.2. A nivel nacional

Según Bermeo and Silva (2022), en su artículo científico, se tuvo como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivos de maíz en Puerto Tamborapa. El estudio utilizó un diseño de investigación de gabinete y de campo con un enfoque descriptivo. Se emplearon datos de la NASA para calcular la radiación solar en la zona y determinar la potencia necesaria del sistema de bombeo, incluyendo la demanda de agua y la altura manométrica total. Posteriormente, se realizó una simulación del sistema de bombeo fotovoltaico utilizando la herramienta SISIFO, lo que permitió seleccionar los componentes y simular la producción de energía, comparando los resultados con los cálculos teóricos. Cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico fue dimensionado y se realizaron cálculos detallados de la producción de energía. La evaluación económica del sistema concluyó que es rentable, con un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/. 7,933.12 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12%. El periodo de recuperación del proyecto es de 15 años, con un Costo Nivelado de Energía (LCOE) de 0.67 S/. por kWh. Otros factores considerados incluyeron una tasa de interés del 10% para el cálculo del VPN, una vida útil de 20 años y un costo de reinversión en el año 10 de S/. 11,500.00 para el inversor.

Según Cerna (2021), se realizó el trabajo de investigación titulado “Diseño del Sistema de Bombeo con Energía Sustentable para Abastecer Agua de Riego al Anexo Chakiqampa – Vinchos – Huamanga – Ayacucho”, con el objetivo de investigar la producción de energía eléctrica mediante un sistema solar



fotovoltaico para bombear agua para riego, reduciendo las emisiones de gases nocivos y promoviendo la sostenibilidad y el éxito económico de la actividad agrícola sin causar daños ambientales significativos. El proyecto utiliza tecnología solar fotovoltaica de corriente continua para alimentar las bombas, las cuales impulsan el agua y la almacenan en un reservorio de 200 m³. Se evaluó la zona de estudio para implementar el sistema de bombeo, almacenamiento y abastecimiento de agua en el anexo Chakiqpampa. Este sistema es confiable, requiere tecnología básica y poco mantenimiento. Diseñado para un área máxima de 283,500 m² (28.35 hectáreas), el sistema de riego por goteo es adecuado para cultivos como papa, maíz, trigo y quinua, los cuales son apropiados para las condiciones climáticas del sitio del proyecto.

En la Sierra norte de Perú, se ha desarrollado una investigación por Paredes (2021), con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y económica de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos; siguiendo la metodología del análisis de costo-beneficio y estudios de caso. Como resultados se ha identificado de sistemas viables que mejoran la productividad agrícola. Finalmente, la implementación de estos sistemas es beneficiosa para la agricultura en la sierra norte de Perú.

En el Valle de Majes, Arequipa; se ha desarrollado la investigación liderada por Valverde (2020), con el objetivo de diseñar y evaluar un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego. Siguiendo la metodología como es el modelado y simulación de diferentes configuraciones. Como resultados se ha encontrado la identificación de una configuración óptima que reduce costos y mejora la eficiencia. Finalmente, la implementación de sistemas de bombeo solares es viable y rentable para la agricultura en Arequipa.



Según Dávalos (2019), realizó el trabajo de investigación denominado “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca”; con el objetivo de diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego de una hectárea de yuca en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca. Una alternativa a la tecnología de bombeo actual, que utiliza un motor de combustión interna y produce importantes gastos de operación y mantenimiento, así como contaminación ambiental, es bombear agua para riego agrícola mediante energía solar fotovoltaica. Con datos de la aplicación de la NASA, el documento ilustra la evaluación y caracterización del recurso solar disponible para varios ángulos de inclinación, arrojando 3,71 kWh/m²/día de radiación solar y un ángulo ideal de 7,5°. También se muestra la demanda energética del sistema de bombeo; con un requerimiento diario de agua de 40 m³, se necesitaban 3117.4 Wh/día de energía hidráulica; como motobomba se seleccionó la motobomba solar de corriente continua modelo PS1800 CSJ8-7 en base al caudal pico y total cabeza. Para cumplir con la potencia de generación de 1,72 kW se eligieron 16 paneles fotovoltaicos LC100-M36, con 8 paneles en serie y 2 en paralelo; la evaluación económica arrojó un VAN de \$15,976.67 y una TIR de 9%.

En la comunidad de Huacclani, Cusco; se ha llevado la investigación desarrollada por Coronel (2018), con el objetivo de implementar un sistema de riego por goteo alimentado con energía solar. Siguiendo la metodología de la instalación de un sistema piloto y evaluación de su impacto. Encontrándose como resultados la mejora en la eficiencia del riego y aumento de la producción agrícola. Finalmente, los sistemas de riego solar son beneficiosos para la agricultura en áreas rurales.



En las comunidades rurales de Piura, se ha desarrollado la investigación desarrollada por García (2017); con el objetivo de evaluar el impacto de la energía solar en el suministro de agua para riego; la metodología seguida es el análisis de caso y encuestas a usuarios; como resultados encontrados fue la mejora en la disponibilidad de agua y aumento de la producción agrícola. Finalmente, la energía solar es una solución viable para mejorar el riego en comunidades rurales de Piura.

2.1.3. A nivel local

Según Arizaca (2022), en su artículo científico titulado “Energía fotovoltaica aplicada en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla”, se investigó la aplicación de energía fotovoltaica en un sistema de riego por aspersión. El objetivo fue calcular la energía fotovoltaica necesaria para el riego, estimando la oferta de agua del manantial "Pujio" en temporadas de avenida y estiaje, y realizando cálculos agronómicos e hidráulicos junto con los componentes del módulo solar fotovoltaico, además de la estimación del presupuesto para su implementación. Como resultados principales se tiene: oferta de agua 1.88 l/s en estiaje y 2.34 l/s en avenida. Demanda agronómica: 25.60 m³/día para 1.80 ha de cultivo de alfalfa. Cálculo hidráulico: caudal de bombeo de 0.00167 m³/s. Radiación solar: 2122.85 Wh/m². Ángulo de inclinación: 15.64° hacia el norte. Potencia fotovoltaica: 1228.8 Wp, con una tensión de 762.92 Wp y un cableado de 12V. Paneles solares: 25 paneles (16 en serie y 2 en paralelo). Bombeo: para una altura hidrodinámica de 34.15 m con tubería de succión de 2". Aspersores: 105 aspersores con presiones no menores a 30 m.c.a. con un presupuesto: S/ 96,718.15. Finalmente, la



implementación del sistema de riego con energía fotovoltaica permitirá un ahorro significativo en costos energéticos y mejorará la producción de alfalfa durante las épocas de sequía.

En la comunidad de Huata, Puno, se ha desarrollado la investigación desarrollada por Condori (2021); con el objetivo de evaluar un sistema de bombeo solar para riego. Siguiendo la metodología de la instalación y monitoreo del sistema. Encontrándose como resultados el aumento de la eficiencia del riego y mejora en la productividad agrícola. Finalmente, los sistemas de bombeo solar son beneficiosos para la agricultura en Huata.

En la comunidad de Vilque, Puno; se ha desarrollado la investigación liderada por Mamani (2020), con el objetivo de implementar un sistema de bombeo de agua solar; siguiendo la metodología de la instalación de un sistema piloto y evaluación de su impacto; encontrándose como resultados como la mejora en la disponibilidad de agua para riego y aumento de la producción agrícola. Finalmente, los sistemas de bombeo solar son efectivos para mejorar la disponibilidad de agua en Vilque.

En la comunidad campesina de Yanque, Puno; se ha desarrollado la investigación liderada por Martínez (2019), con el objetivo de implementar un sistema de riego tecnificado con energía fotovoltaica. La metodología usada es la instalación y monitoreo del sistema. Como resultados se ha encontrado la mejora en la eficiencia del riego y aumento de la productividad agrícola. Finalmente, los sistemas de riego fotovoltaicos son beneficiosos para la agricultura en Puno.



En la comunidad campesina de Ichu, Puno; se ha desarrollado una investigación liderada por Huanca (2019); con el objetivo de implementar un sistema de bombeo de agua solar para riego; siguiendo la metodología de la instalación de un sistema piloto y evaluación de su desempeño; como resultados se ha encontrado la mejora en la eficiencia del riego y aumento de la producción agrícola. Finalmente, los sistemas de bombeo solar son beneficiosos para la agricultura en la comunidad de Ichu.

Según Jara and Ramos (2018), se realizó el trabajo de investigación, enfocado en la inadecuada aplicación de sistemas fotovoltaicos en riego automatizado en las localidades altoandinas. El objetivo fue diseñar y evaluar la viabilidad de un prototipo automatizado para riego, ganadería y consumo humano en el centro poblado Ichu. Aspectos principales del estudio. Prototipo automatizado: planificado con paneles solares y diseñado usando la metodología de cálculo de evapotranspiración potencial para un cultivo de cebolla de 200 m². Datos técnicos. Evapotranspiración de 4.56 mm/día. Eficiencia del sistema de riego del 90%. Caudal de 0.46 l/s y tiempo de riego de 1.14 h/día. Tubería principal de 29.4 mm y secundaria de 17.4 mm. Datos heliográficos mensuales de 5.76 horas pico/día. Caudal de bombeo de 3.23 l/min. Paneles solares cristalinos SIEMEN de 12 V y 4.83 A, requiriendo 4 paneles con una potencia combinada de 231.84 W. Vida útil del sistema de 20 años. Sistema automatizado controlado por un microcontrolador Arduino UNO con programación en C/C++. Costos: sistema fotovoltaico: S/ 5,787.70, y sistema eléctrico convencional: S/ 11,247.16. Finalmente, el sistema fotovoltaico automatizado es más económico que el sistema eléctrico convencional y utiliza energía solar limpia al 100%. Este prototipo es práctico en términos de economía y sostenibilidad, y representa un



beneficio significativo para una familia rural en términos de costos y uso eficiente de energía.

2.2. MARCO TEORICO

El diseño de un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica implica la integración de conocimientos interdisciplinarios que abarcan áreas como la energía solar, la ingeniería de sistemas de bombeo y la gestión de recursos hídricos. A continuación, se detallan los principales conceptos y teorías que respaldan esta investigación:

2.2.1. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad a través de células fotovoltaicas (Karim & Puspitasari, 2023). Es una fuente de energía renovable y sostenible que ofrece una alternativa viable a las fuentes de energía convencionales (Klemeš, 2022).

2.2.2. Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares son dispositivos formados por múltiples células fotovoltaicas interconectadas. Estas células, hechas de materiales semiconductores, liberan electrones al ser expuestas a la luz solar, generando así una corriente eléctrica.

2.2.3. Sistemas de bombeo de agua

Los sistemas de bombeo tienen como objetivo principal elevar o mover agua desde una fuente (como un pozo o río) hasta un punto de uso, como un sistema de riego agrícola (Volpi et al., 2006). La selección y diseño de las bombas,

así como la determinación de la altura de elevación, son fundamentales en este proceso (National Academies of Sciences Engineering and Medicine, 2023).

2.2.4. Tecnología fotovoltaica y sistemas de bombeo de agua

Los paneles solares fotovoltaicos, que convierten la energía solar en electricidad, son un componente fundamental en estos sistemas (Volpi et al., 2006). Investigaciones han abordado la eficiencia de diferentes tipos de paneles, así como técnicas para maximizar la captación de energía solar (Karim & Puspitasari, 2023).

Figura 1

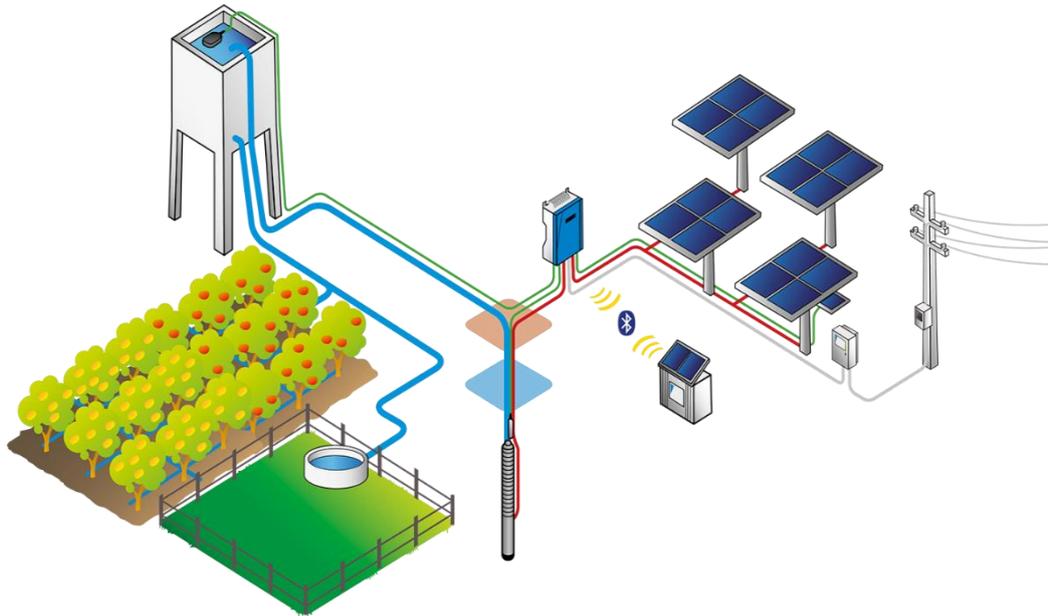
Sistema de bombeo con panel solar



Nota: Adaptado de Deambi (2016)

Figura 2

Sistema hidráulico para un sistema de riego



Nota: Adaptado de Deambi (2016)

2.2.5. Dimensionamiento y diseño de sistemas de bombeo

El dimensionamiento adecuado del sistema es esencial para garantizar un suministro de agua óptimo (Al, 2023). Esto implica considerar la demanda de agua, la profundidad del pozo o fuente de agua, y la altura de elevación requerida (Kumar et al., 2023).

2.2.6. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos

El dimensionamiento adecuado de un sistema fotovoltaico implica calcular la potencia necesaria de los paneles solares para satisfacer la demanda energética del sistema de bombeo, teniendo en cuenta factores como la radiación solar disponible y la eficiencia de los componentes (Kumar & Prajapati, 2023).



2.2.7. Eficiencia energética

Se refiere a la relación entre la energía útil proporcionada por un sistema y la energía total consumida. En el contexto de este estudio, implica maximizar la eficiencia del sistema de bombeo para asegurar un uso óptimo de la energía generada por los paneles solares (Klemeš, 2022).

2.2.8. Gestión del riego y uso eficiente del agua

Involucra prácticas y técnicas destinadas a administrar de manera eficaz el suministro de agua en sistemas de riego agrícola. Esto incluye la distribución uniforme del agua y la optimización de los tiempos de riego (Krishna, 2023).

2.2.9. Impacto socioeconómico y ambiental

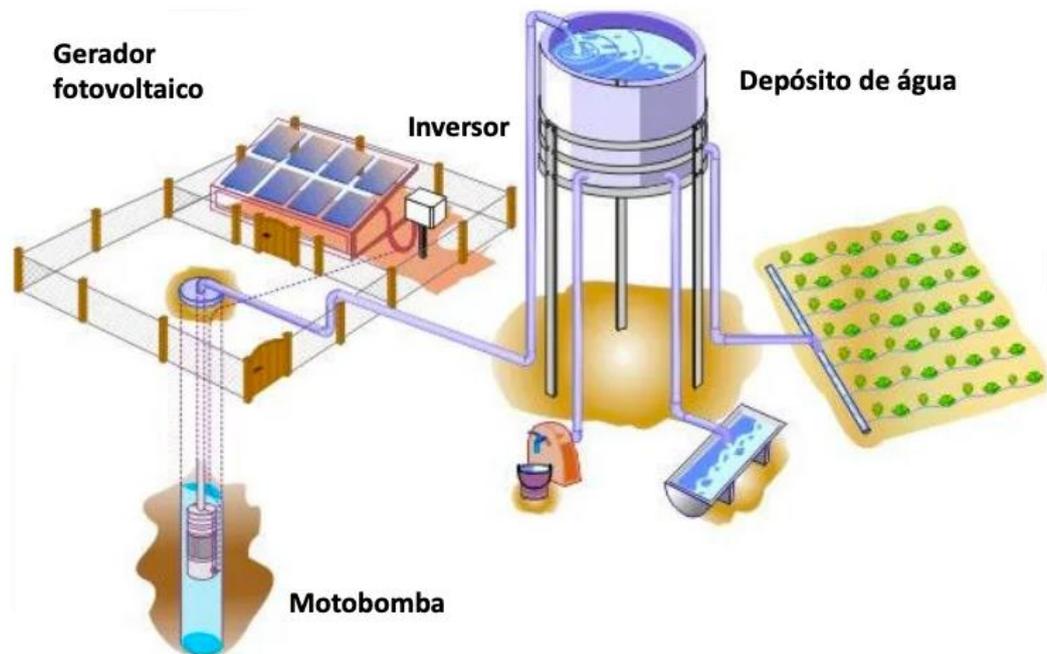
La implementación de sistemas de bombeo de agua con energía fotovoltaica puede tener efectos significativos en la comunidad, incluyendo mejoras en la productividad agrícola, la disponibilidad de agua y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Gupta et al., 2023).

2.2.10. Optimización de la eficiencia energética

Se ha investigado el uso de tecnologías y técnicas para optimizar la eficiencia energética de estos sistemas, como la implementación de variadores de frecuencia, almacenamiento de energía y sistemas de seguimiento solar (Cruz & Núñez, 2014).

Figura 3

Sistema de bombeo con panel solar y los diferentes usos



Nota: Adaptado de Deambi (2016)

2.2.11. Análisis económico y viabilidad financiera

Estudios previos han abordado la viabilidad económica de la instalación y operación de sistemas de bombeo fotovoltaico en comparación con sistemas convencionales (Silver et al., 2015). Esto incluye el cálculo del costo total de propiedad, el análisis de retorno de inversión y la evaluación de los beneficios socioeconómicos (Patil et al., 2018).

2.2.12. Gestión y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

La correcta gestión y mantenimiento de los componentes fotovoltaicos es crucial para garantizar la operatividad a largo plazo (Dwivedi & Dwivedi, 2023). Investigaciones han propuesto estrategias y prácticas eficaces para este fin (Ashby, 2023).



2.2.13. Experiencias y casos de estudio

Se han documentado casos de estudio de proyectos similares en diversas regiones, lo que proporciona lecciones aprendidas y buenas prácticas aplicables a proyectos de bombeo de agua para riego alimentados por energía fotovoltaica (Hahn et al., 2023; Karim & Puspitasari, 2023).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

La comunidad campesina Molino Kapia se encuentra ubicada en el distrito de Zepita, en la región de Puno, Perú. Esta localidad se sitúa en la parte suroriental del país, en la altiplanicie andina, caracterizada por su elevada altitud y su clima frío. Puno es conocido por su impresionante paisaje natural, que incluye el lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo.

La comunidad de Molino Kapia está inmersa en un entorno rural, donde la actividad agrícola es de gran relevancia para la economía local. La disponibilidad de agua para el riego es un factor crucial en esta región, y el desarrollo de un sistema de bombeo de agua alimentado con energía fotovoltaica puede representar una solución innovadora y sostenible para optimizar el uso del recurso hídrico en la zona.

La altitud y las condiciones climáticas específicas de esta región andina juega un papel fundamental en la determinación de la idoneidad geográfica y climática para la instalación del sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica.

Este estudio se llevó a cabo en el terreno de la comunidad campesina Molino Kapia, permitiendo una evaluación precisa de las condiciones locales y la implementación efectiva del sistema de bombeo propuesto.

Figura 4

Mapa de ubicación de la comunidad de Molina





3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para llevar a cabo una investigación exhaustiva en la comunidad campesina Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, se empleó diversas técnicas de recolección de información que permitirán obtener datos precisos y relevantes. A continuación, se detallan las técnicas seleccionadas:

3.2.1. Mediciones in situ

Se realizó mediciones directas en el lugar de estudio para recabar información específica sobre factores como la radiación solar, la altitud, las características del terreno y otros parámetros relevantes para el diseño del sistema de bombeo (Baena, 2017). Se utilizaron instrumentos de medición adecuados y se llevó registros detallados, como es el caso del caudal, infiltración y el levantamiento topográfico (Fresno, 2019).

3.2.2. Análisis de datos climáticos

Se recopiló de datos climáticos históricos y actuales de la zona, incluyendo la radiación solar, la temperatura y las precipitaciones. Estos datos son esenciales para evaluar la idoneidad climática y geográfica para la instalación de paneles solares (SENAMHI, 2022).

3.2.3. Revisión documental

Se realizó una revisión exhaustiva de estudios previos, informes técnicos, normativas y otros documentos relevantes relacionados con proyectos similares, tecnologías de energía solar y sistemas de riego (Domínguez et al., 2018).



3.2.4. Observación participante

Se llevo a cabo una observación activa en la comunidad para comprender de manera más profunda las dinámicas locales, identificar posibles desafíos y oportunidades, y establecer relaciones con los habitantes (Mancila et al., 2018; Murillo, 2003).

La combinación de estas técnicas de recolección de información permitirá obtener datos variados y complementarios, garantizando una base sólida para el diseño y la implementación del sistema de bombeo de agua alimentado por energía fotovoltaica en Molino Kapia (Kemmis & McTaggart, 1988).

3.3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación en Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, se clasifica como una investigación aplicada (Cruz et al., 2014).

3.3.2. Nivel de investigación:

El nivel de investigación que se llevó a cabo en Molino Kapia es descriptivo y explicativo (Wood & Smith, 2017).

3.3.3. Justificación

Investigación aplicada: esta clasificación se debe a que el estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de bombeo de agua para riego utilizando energía fotovoltaica en un contexto específico, con el propósito de resolver una problemática concreta que enfrenta la comunidad campesina (Arias, 2012).



Nivel descriptivo: la investigación busca describir la situación actual de la disponibilidad de agua para riego, el uso de energía en la zona, así como otros aspectos relevantes para el diseño del sistema (Valderrama, 2013).

Nivel explicativo: además de describir la situación actual, se busca comprender las relaciones causales y los factores que influyen en la eficiencia y viabilidad del sistema de bombeo de agua con energía fotovoltaica. Se explora las posibles razones detrás de los niveles de eficiencia obtenidos y se analizó las variables que afectan su desempeño.

Esta combinación de investigación aplicada con niveles descriptivos y explicativos permitió abordar de manera integral el diseño y la implementación del sistema de bombeo de agua con energía fotovoltaica en Molino Kapia, contribuyendo así a la solución de la problemática identificada en la comunidad.

3.3.4. Diseños de la investigación

Para llevar a cabo la investigación en Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, se propone un diseño de investigación mixta, que combina tanto elementos cualitativos como cuantitativos (Tamayo, 2004).

Fase cualitativa:

Observación participante: el investigador participa en actividades de la comunidad para comprender de manera directa las dinámicas locales y las necesidades específicas.



Fase cuantitativa:

Recolección de datos meteorológicos: se ha obtenido de parte de las estaciones meteorológicas para recopilar datos sobre radiación solar, temperatura y otros parámetros relevantes (Serna, 2013).

Instrumentos:

Listas de verificación de observación participante: para registrar observaciones relevantes durante la participación en actividades comunitarias (Domínguez et al., 2018).

Equipos de medición meteorológica: estaciones meteorológicas para recopilar datos sobre radiación solar, temperatura, humedad, entre otros.

Este diseño de investigación mixta permitió obtener una comprensión profunda de la situación en Molino Kapia, aprovechando tanto la riqueza de los datos cualitativos como la capacidad de generalización de los datos cuantitativos. Esto garantiza que el diseño del sistema de bombeo de agua con energía fotovoltaica esté fundamentado en una comprensión completa de las necesidades y condiciones locales.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población objetivo de este estudio se encuentra en Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno. Esta población incluye a los habitantes de la comunidad, agricultores, autoridades locales y cualquier otra persona involucrada en el uso y gestión del agua para riego en la zona (Flores & Villamar, 2012).



3.4.2. Muestra

Dado que se trata de una investigación diseño de un sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica, para este caso se ha diseñado como un piloto solo para una familia o un usuario de riego (Ruiz, 2007).

Agricultores y usuarios de agua: Se ha seleccionado solo una familia como una muestra representativa de agricultores y usuarios de agua en Molino Kapia. Esta muestra consideramos que es un prototipo que proporciona una visión precisa de las necesidades y patrones de uso del agua para riego en la comunidad (Fuentes et al., 2020).

Expertos locales: Se incluyo expertos locales, como técnicos agrícolas, ingenieros y miembros de las autoridades locales, en la muestra. Estos individuos poseen un conocimiento valioso sobre las condiciones locales y pueden proporcionar información clave para el diseño del sistema (Rousseau et al., 2018).

La determinación del tamaño exacto de la muestra ha sido seleccionada con el objeto que será el primer sistema y es considerado como un prototipo dependerá de consideraciones específicas, como la disponibilidad de recursos y el grado de representatividad al que se ha alcanzado (Fuentes et al., 2020).

3.4.3. Muestreo

Para el estudio en Molino Kapia, distrito de Zepita, Puno, se utilizado un enfoque de muestreo estratificado para obtener una representación precisa de diferentes grupos de interés en la población (Patankar et al., 2023). Como es el caso de la zona de riego. A continuación, se propone un esquema de muestreo:



3.4.4. Diseño de muestreo:

Se ha llevado el siguiente diseño de muestreo:

Fase 1: Identificación y clasificación de los estratos.

Fase 2: Muestreo aleatorio simple dentro de cada estrato para obtener muestras representativas.

Fase 3: Recopilación de datos mediante mediciones pertinentes.

Es importante recordar que la determinación del tamaño de la muestra y el diseño de muestreo exacto dependió de factores como el presupuesto disponible, la disponibilidad de recursos y la precisión requerida en los resultados (Gallardo, 2017; Rousseau et al., 2018).

3.4.5. Variables de estudio

3.4.5.1. Variable independiente:

Energía fotovoltaica.

3.4.5.2. Variable dependiente:

Sistema de bombeo de agua para riego.

3.4.6. Delimitación temporal

Año 2023.

3.4.7. Delimitación espacial

Comunidad campesina Molina Kapia.



3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Se procedió a diseñar un sistema de riego de aspersión alimentado por energía fotovoltaica, específicamente para atender las necesidades de riego de una familia o un sistema de riego familiar en la comunidad campesina de Molino Kapia. Así mismo para este sistema se ha tomado como referencia de las siguientes investigaciones Arizaca (2022) y Jamachi (2023).

3.5.1. Determinación de la radiación solar existente en la comunidad campesina Molino Kapia

Para el cumplimiento del presente objetivo se determinó la radiación solar existente en el área en estudio con el piranómetro (instrumento que mide la radiación); Es un sensor creado para medir la incidencia de flujo de la radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados y se utiliza como instrumento meteorológico para medir con extrema precisión la radiación solar del SENAMHI (2003) que incide sobre la superficie terrestre; además de ello se realiza la determinación de la topografía como dato adicional para el desarrollo de los cálculos.

Figura 5

SM206 Medidor de irradiancia de energía solar digital



Nota: De igual manera se ha medido la radiación solar solo para realizar las comprobaciones de los datos del SENAMHI, y mediante ecuaciones tomadas por Eslamian and Eslamian (2023), del libro denominada *Photovoltaic Science and Engineering* “ingeniería y ciencia fotovoltaica”; el cual indica el cálculo de los siguientes parámetros para determinar la radiación solar:

Declinación solar (°)

$$\delta = 23.45^\circ * \text{sen} \left(\frac{360(d_n + 284)}{365} \right) \quad (1)$$

Donde: d_n : Días del año.

Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal (°)

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\Phi)) \quad (2)$$



Donde: δ : Angulo de declinación solar y ϕ : Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado ($^\circ$)

$$\omega_{ss} = \max\left(\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi - \beta))\right) \quad (3)$$

Donde: δ : Angulo de declinación solar y ϕ : Latitud del área en estudio

Factor de excentricidad

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * d_n}{365}\right) \quad (4)$$

Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal (Wh/m^2)

$$H_0 = \left(\frac{T}{\pi}\right) * I_0 * \varepsilon_0 \left(-\left(\frac{\pi}{180}\right) * (\omega_s * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\delta)) - (\text{cos}(\phi) * \text{cos}(\delta) * \text{sen}(\omega_s))\right) \quad (5)$$

Donde: T : Tiempo del día (horas) y I_0 : Factor de incidencia (1367)

Índice de claridad

$$K_{Tm} = \frac{G_0}{H_0} \quad (6)$$

Donde: G_0 : Irradiación global horizontal (1861 Wh/m^2)

Fracción difusa

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 K_{Tm} \quad (7)$$

Radiación difusa sobre un plano horizontal

$$D_0 = F_{Dm} * G_0 \quad (8)$$

Radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal



$$H_{dm} = G_0 - D_0 \quad (9)$$

Radiación solar directa sobre un panel solar inclinado

$$H_{(\beta,\alpha)} = H_{dm(0)} * K \quad (10)$$

Donde: K : Factor de corrección (2.74)

Radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_0 * \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (11)$$

Radiación solar Albedo sobre un panel solar inclinado

$$AL_{(\beta,\alpha)} = \rho * G_0 * \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (12)$$

Radiación solar global sobre un panel solar inclinado

$$R_G = H_{(\beta,\alpha)} + D_{(\beta,\alpha)} + AL_{(\beta,\alpha)} \quad (13)$$

Finalmente, luego de haber hallado la radiación solar mediante el equipo denominado SM206 Medidor de irradiancia de energía solar digital, se realiza su comparación mediante las ecuaciones tomadas en referencia por Arizaca (2022), descritas anteriormente; y con el portal del SENAMHI (2024); para conocer si los resultados hallados fueron veraces y precisos.

Figura 6

HoldPeak HP-866B-APP Anemómetro digital de mano



3.5.2. Dimensionamiento del sistema de bombeo de agua para riego alimentado con energía fotovoltaica

Para el cumplimiento del presente objetivo se seguirán las consideraciones descritas por la ley que crea el programa de riego tecnificado (Ley N° 28585 - MINAGRI, 2016); así como también las consideraciones establecidas del manual de inspección y revisión de sistemas fotovoltaicos Hahn et al. (2023); para el cálculo de los módulos solares fotovoltaicos.

Calculo agronómico

Evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración de los cultivos es la necesidad de agua de los cultivos calculada mediante la siguiente ecuación.

$$Etc = ETo * Kc \quad (14)$$

Donde: *Etc*: Evapotranspiración del cultivo (mm/día); *ETo*: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día) y *Kc*: Coeficiente único de cultivo.

“Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, se utiliza la metodología de Hargreaves”, recomendada como el enfoque modelo más adecuado para “definir y calcular la evapotranspiración de referencia de los cultivos (*ETo*)”, empleando la siguiente ecuación.

$$ETo = 0.0135(t_{med} + 17.78) * R_s \quad (15)$$

Donde: *ETo*: Evapotranspiración de referencia (mm/día); *t_{med}*: temperatura media, °C ; *R_s*: radiación solar incidente, convertida en mm/día.

Lamina neta de riego (*Ln*)

Según Jara and Ramos (2018), se procede mediante la siguiente ecuación:

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da \quad (16)$$

Donde: *CC*: Capacidad de campo (%); *PMP*: Punto de marchitez permanente (%); *h*: Altura de la raíz (m); *c*: Coeficiente de agotamiento (%) y *da*: Densidad aparente (g/cm³).

Lamina bruta de riego (*Lb*)



Con este dato, se ajusta la lámina de riego (Lb), considerando las pérdidas del sistema mediante la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \quad (17)$$

Donde: ln : Lamina neta de riego (mm) y Ef : Eficiencia de riego

Demanda de agua requerida para riego

$$Da = A * Lb \quad (18)$$

Donde: A : Área de riego (m^2) y lb : Lamina bruta de riego (m)

Caudal de agua requerido para riego

$$Q = \frac{D}{T} \quad (19)$$

Donde: Q : Caudal (m^3/s); D : Demanda de agua (m^3); T : Tiempo de riego (s)

Calculo hidráulico

Diámetro de tubería de impulsión

El dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión se realiza mediante la siguiente expresión:

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb} \quad (20)$$

Donde: D : Diámetro de tubería (pulgadas); X : Horas de bombeo de agua y

Qb : Caudal de bombeo.

Caudal de bombeo



$$Qb = \frac{Vta}{T} \quad (21)$$

Donde: *Vta*: Volumen del tanque (según calculo agronómico) y *T*: Tiempo (horas)

Potencia de bombeo

La expresión para el cálculo de la potencia se efectuó de la siguiente manera:

$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta} \quad (22)$$

Donde: *Pb*: Potencia de la bomba (HP); *Qb*: Caudal de bombeo; *HDT*: Altura hidrodinámica total y *Qb*: Eficiencia de la bomba (%)

Cálculo de los módulos solares fotovoltaicos

Angulo de inclinación del panel

Según Lara (2007); para determinar el ángulo de inclinación; del módulo solar fotovoltaico se lleva a cabo mediante la siguiente ecuación:

$$A = L - 23.5^\circ \text{sen} \left(\frac{T}{365.25} * 360^\circ \right) \quad (23)$$

Donde: *L*: Latitud del área en estudio y *T*: Número de días transcurridos a partir del equinoccio de la primavera

Altura del panel

$$h = \text{sen}(A) * 1570 + 200 \quad (24)$$

Donde: *h*: Altura del módulo solar fotovoltaico y *A*: Angulo de inclinación



Cantidad de paneles solares

Se estima la cantidad de paneles según la cantidad de Watio pico (Wp) que requiere la bomba para funcionar y (Wp) que posee el panel, según la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ de\ paneles = \frac{Wp\ bomba}{Wp\ Panel\ Solar} \quad (25)$$

Donde: $Wp\ bomba$: Cantidad de watio pico requerido por la bomba y

$Wp\ Panel\ Solar$: Cantidad de watio pico establecido en el panel

Potencia fotovoltaica

$$Pot.\ total = Wp * 1.6 \quad (26)$$

Donde: Wp : Potencia de la bomba en Watio pico (según el diseño hidráulico)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a los objetivos planteados en la presente investigación, los resultados obtenidos, se ha considerado las investigaciones Así mismo para este sistema se ha tomado como referencia las siguientes investigaciones Arizaca (2022) y Jamachi (2023), a fin de responder nuestras preguntas y respondiendo a nuestros objetivos trazados.

4.1. RADIACIÓN SOLAR EN MOLINO KAPIA

Para este caso se ha determinado las coordenadas geográficas de 16°25'02.3"S 69°05'47.9"W (-16.417777, -69.096153), de los cuales se han encontrado los siguientes valores:

Temperatura y humedad del aire

Latitud de la estación meteorológica: 16.418 Latitud

Altitud de la estación meteorológica: 3982 Altitud

Temperatura máxima del día: 13.80 T max

Temperatura mínima del día: 0.00 T min

Humedad relativa máxima del día: 70.60 RHmax

Humedad relativa mínima del día: 52.90 RHmin

Velocidad del viento a 2m: 2.75 U2 (m/s)

Duración real de la insolación: 6.09 n



Radiación solar: $19.4 R_s$ ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$)

Temperatura promedio del día: $6.900 T_{\text{avg}}$ ($^{\circ}\text{C}$)

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor: 0.068δ

Presión atmosférica derivada de la altitud: $62 P$ (kPa)

$$1.58 e(T_{\text{max}})$$

$$0.61 e(T_{\text{min}})$$

Presión de vapor del aire del día: $0.63 e_a$ (kPa)

Presión de vapor de saturación del día: $1.09 e_s$

Déficit de Presión de Vapor del día (DPV): $0.46 e_s - e_a$

Cálculos intermedios

Constante psicrométrica: 0.041γ

Cálculo intermedio denominador PM: $1.935 (1 + 0.34U)$

Cálculo intermedio para 1ª parte PM: $0.460 \text{ del } ()$

Cálculo intermedio 2ª parte PM: $0.279 \text{ gam } ()$

Cálculo intermedio 2ª parte PM: $8.842 \quad 900 / (T_m + 273) U^2$

Radiación solar

Distancia relativa inversa tierra-sol: $1.005 d_r$

Declinación solar: -0.136δ



Latitud en radianes: 0.287 Lat (rad)

Angulo de radiación a la hora de la puesta del sol: 1.53 omega s

Radiación extraterrestre: 33.7 Ra (MJ/m²·dia)

Duración máxima posible de la insolación o de la luz del día: 11.69 N

Relación solar relativa: 0.52 n/N

Radiación solar en un día despejado: 27.9 Rso

Radiación relativa: 0.69 Rs/Rso

Radiación neta solar: 14.9 Rns

Cálculo intermedio de Rnl: 33.25 sigmTmax⁴

Cálculo intermedio de Rnl: 27.30 sigmTmin⁴

Cálculo intermedio de Rnl: 30.27 ave(sigmT⁴'s)

Cálculo intermedio de Rnl: 0.23 .34-.14Sqrt(ea)

Cálculo intermedio de Rnl: 0.59 1.35Rs/Rso-.35

Radiación neta de onda larga: 4.07 Rnl

Radiación neta: 10.87 Rn

Flujo de calor del suelo: 0 G

10.87 Rn-G



La Eto

1ª parte PM 2.04 (Rn-G)

2ª parte PM 1.14 DPV

ETo 3.18 mm/d

Para el cálculo de los datos antes mencionados se ha procedido a trabajar con los datos diarios como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Medida de la radiación solar horaria (W/m^2) y acumulada (MJ/m^2)

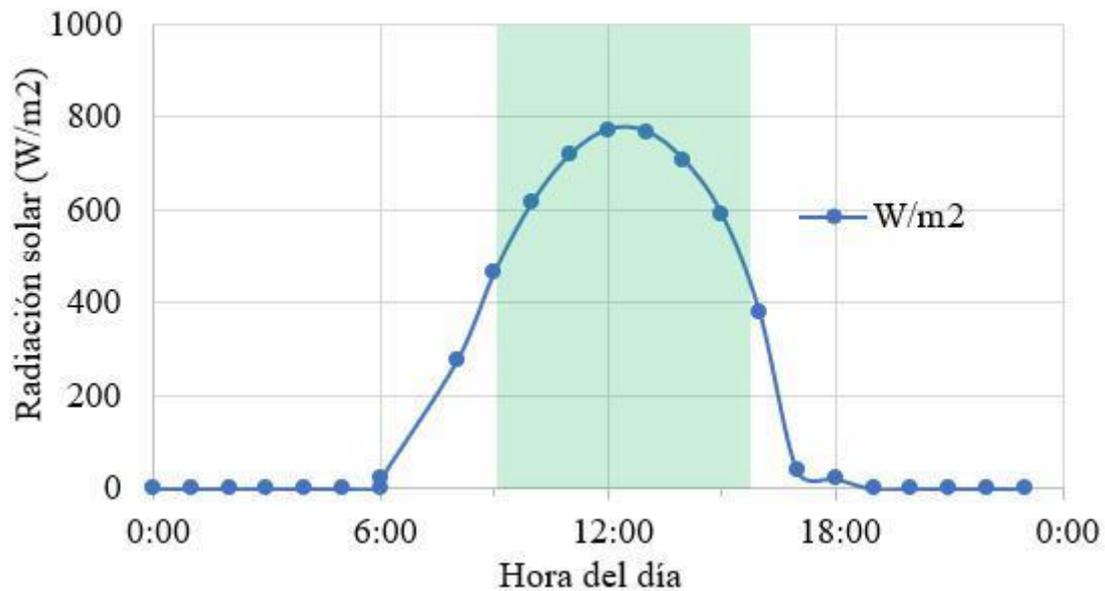
Fecha	W/m2	MJ/m2	MJ/m2	Temp (°C)	HR (%)	viento (m/s)
29/09/2023 0:00	0	0.00	0.00	9.21	70	0.1
29/09/2023 1:00	0	0.00	0.0	8.97	71	0.3
29/09/2023 2:00	0	0.00	0.0	8.69	71	0.1
29/09/2023 3:00	0	0.00	0.0	8.61	72	0.1
29/09/2023 4:00	0	0.00	0.0	8.37	72	0.2
29/09/2023 5:00	0	0.00	0.0	6.17	80	0.1
29/09/2023 6:00	0	0.00	0.0	6.49	80	0.3
29/09/2023 6:00	22	0.08	0.1	6.85	79	0.91
29/09/2023 8:00	275	0.99	1.1	8.53	76	1.21
29/09/2023 9:00	467	1.68	2.7	9.69	74	1.91
29/09/2023 10:00	617	2.22	5.0	11.05	72	1.41
29/09/2023 11:00	720	2.59	7.6	12.89	70	0.8
29/09/2023 12:00	773	2.78	10.3	13.69	68	1.21
29/09/2023 13:00	769	2.77	13.1	14.05	67	1.41
29/09/2023 14:00	707	2.54	15.7	14.97	64	0.91
29/09/2023 15:00	591	2.13	17.8	15.69	59	0.8
29/09/2023 16:00	381	1.37	19.2	15.21	57	0.7
29/09/2023 17:00	39	0.14	19.3	13.65	61	0.3
29/09/2023 18:00	22	0.08	19.4	12.53	65	0.1
29/09/2023 19:00	0	0.00	19.4	10.61	75	0
29/09/2023 20:00	0	0.00	19.4	8.41	85	0
29/09/2023 21:00	0	0.00	19.4	6.69	90	0
29/09/2023 22:00	0	0.00	19.4	6.21	90	0
29/09/2023 23:00	0	0.00	19.4	5.77	90	0

Nota: W/m^2 : radiación solar horaria del 09 de octubre del 2023; MJ/m^2 : radiación solar horaria acumulada; Temp: Temperatura en grados centígrado (°C); HR: humedad relativa

De la tabla anterior se ha ploteado los puntos mostrados y se ha considerado los datos para la Figura 7.

Figura 7

Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado



Nota: Según la figura anterior se puede evidencia que se tiene mayor radiación al medio día (SENAMHI, 2003), así mismo se ha medido, solo para realizar las comprobaciones y que se encuentran dentro de los datos que da el SENAMHI. Por tanto, en la mañana y en la tarde es nulo, que esto afecta durante el manejo y operación del sistema de riego por aspersión.

La radiación solar R_s 19.4 (MJ/m²·día), que se ha considerado para nuestro análisis, de nuestra investigación que se ha desarrollado para la determinación de la ETO; que posteriormente se ha usado para el cálculo de las necesidades hídricas para los cultivos que se pretenden regar.

4.2. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE BOMBEO PARA RIEGO ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Para el cumplimiento de este objetivo se tiene el diseño agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión para un área de 1.70 hectáreas como un prototipo.

El presente prototipo consta de una planta de bombeo con panel solar, el sistema de riego es familiar en la comunidad de Molino Kapia.

Tabla 2

Información meteorológica

Meses	T. Min (°C)	T. Max (°C)	HR (%)	Vel. Viento (m/s)	Insolación (%)	Precipitación media (mm)	Evaporac. (mm)	T. Media (°C)
ENE.	5.60	15.30	62.10	2.90	47.20	179.40	148.80	10.40
FEB.	5.30	15.20	61.70	2.80	52.80	140.60	134.60	10.20
MAR.	5.10	15.10	58.60	2.60	57.20	129.40	144.60	10.10
ABR.	3.60	15.10	54.70	2.50	71.20	58.30	135.10	9.40
MAY.	0.80	14.80	44.50	2.20	83.00	8.90	129.80	7.80
JUN.	-1.00	13.80	40.80	2.20	82.70	6.50	115.50	6.40
JUL.	-1.30	13.90	41.00	2.30	85.50	3.20	123.60	6.30
AGO.	-0.10	14.60	42.80	2.50	81.70	13.70	141.60	7.40
SET.	1.70	15.70	43.50	2.80	75.70	23.90	156.40	8.70
OCT.	3.30	16.30	45.70	2.90	73.20	52.50	178.40	9.90
NOV.	4.40	16.60	48.30	2.90	65.00	56.30	176.80	10.50
DIC.	5.20	16.50	53.20	2.90	55.80	84.20	169.50	10.90
PROM.	2.72	15.24	49.74	2.63	69.25	63.08	146.23	9.00

Nota: Los datos mencionados en la Tabla 2, son datos usados para la determinación de la ETo, el cual será útil para la determinación de la demanda de los cultivos que se pretende cultivar en la parcela.

Tabla 3

Calendario de cultivo

Cultivo	Area	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Papa	0.10	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
Avena forrajera	0.20	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
Alfalfa	0.30	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Total de área (has.)	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

El calendario de cultivo es una herramienta esencial para planificar y gestionar adecuadamente las actividades agrícolas en la comunidad campesina Molino Kapia. Este calendario se basa en el ciclo de cultivos seleccionados y se integra con el diseño del sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica para asegurar un suministro eficiente y oportuno de agua que se muestra en la figura 3.

Tabla 4

Coefficientes Kc de cultivos

Nº	CEDULA DE CULTIVO	AREA (Hás)	SET		OCT		NOV		DIC		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO			
			Kc	KcP																								
1	Papa	0.10	-	-	0.20	0.03	0.20	0.03	0.75	0.13	1.15	0.19	0.85	0.14	0.85	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Avena forrajera	0.20	-	-	0.20	0.07	0.20	0.07	0.75	0.25	0.75	0.25	0.40	0.13	0.40	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Alfalfa	0.30	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
AREA TOTAL (Hás)		0.60																										
Areas de cultivo (hás/mes)		0.30	0.60	0.30																								
Kc ponderado (Kcp)			0.50	0.35	0.35	0.63	0.69	0.53	0.53	0.50																		

Nota: Se consideraron los coeficientes de cultivo (Kc) ponderado Tabla 4, para los cultivos seleccionados: papa, avena forrajera y alfalfa. Estos coeficientes son fundamentales para calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc) y, por ende, las necesidades de riego. Estos coeficientes de cultivo (Kc) y las correspondientes ETc se

utilizarán para determinar las necesidades de riego y para el dimensionamiento del sistema de bombeo de agua alimentado con energía fotovoltaica, asegurando una distribución eficiente y sostenible del recurso hídrico para las actividades agrícolas en la comunidad campesina Molino Kapia.

Tabla 5

Método de Hargreaves en base a la temperatura

VARIABLE		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media mensual °C	TMC	10.4	10.2	10.1	9.40	7.80	6.40	6.30	7.40	8.70	9.90	10.50	10.90
Temperatura media mensual °F	TMF	50.7	50.4	50.2	48.90	46.00	43.50	43.30	45.20	47.70	49.70	50.90	51.60
Factor mensual de latitud	MF	2.7	2.3	2.3	1.90	1.70	1.50	1.60	1.90	2.10	2.50	2.60	2.70
Humedad relativa media mensual	HR	62.1	61.7	58.6	54.70	44.50	40.80	41.00	42.80	43.50	45.70	48.30	53.20
Factor de correccion por la HR	CH	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de correccion por altitud	CE	1.1	1.1	1.1	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Evatranspiracion potencial (mm/mes)	ETP	147.8	126.2	126.1	101.90	84.20	70.20	75.10	90.90	109.40	133.60	141.70	152.10
Evatranspiracion potencial (mm/dia)	ETP	4.77	4.51	4.07	3.40	2.72	2.34	2.42	2.93	3.65	4.31	4.72	4.90

Nota: Se ha utilizado el método de Hargreaves para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) máxima en base a la temperatura. El valor calculado de ETP máxima es de 5.25 mm/día que se muestra en la Tabla 5. Estos resultados proporcionan una base sólida para el diseño del sistema de riego, asegurando que cada cultivo reciba la cantidad de agua necesaria para su crecimiento óptimo, y que el sistema de bombeo alimentado con energía fotovoltaica pueda satisfacer estas necesidades de manera eficiente y sostenible.

Tabla 6

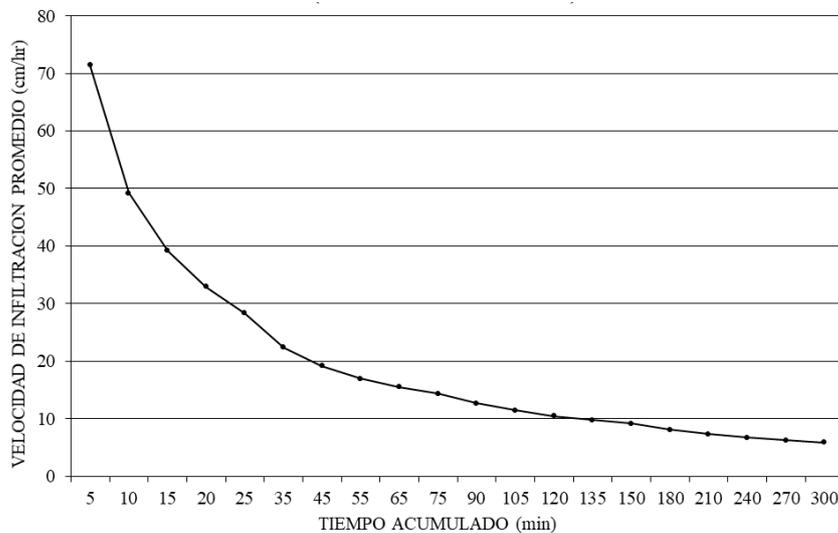
Prueba de infiltración

Hora	Tiempo (min)		Lectura (cm)	Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad Infiltrada (cm/hr)	
	Parcial	Acumulado		Parcial	Acumulada	Instantánea	Promedio
1	2	3	4	5	6	7	8
9.10	0	0	0	0	0	0	0
9.15	5	5	5.95	5.95	5.95	71.40	71.40
9.20	5	10	8.20	2.25	8.20	27.00	49.20
9.25	5	15	9.79	1.59	9.79	19.08	39.16
9.30	5	20	10.96	1.17	10.96	14.04	32.88
9.35	5	25	11.80	0.84	11.80	10.08	28.32
9.45	10	35	13.05	1.25	13.05	7.50	22.37
9.55	10	45	14.35	1.30	14.35	7.80	19.13
10.05	10	55	15.50	1.15	15.50	6.90	16.91
10.15	10	65	16.80	1.30	16.80	7.80	15.51
10.25	10	75	17.90	1.10	17.90	6.60	14.32
10.40	15	90	18.95	1.05	18.95	4.20	12.63
10.55	15	105	20.02	1.07	20.02	4.28	11.44
11.10	15	120	20.95	0.93	20.95	3.72	10.48
11.25	15	135	21.90	0.95	21.90	3.80	9.73
11.40	15	150	22.80	0.90	22.80	3.60	9.12
12.10	30	180	24.20	1.40	24.20	2.80	8.07
12.40	30	210	25.50	1.30	25.50	2.60	7.29
13.10	30	240	26.80	1.30	26.80	2.60	6.70
13.40	30	270	28.10	1.30	28.10	2.60	6.24
14.10	30	300	29.40	1.30	29.40	2.60	5.88

Nota: La prueba de infiltración realizada fue se ha iniciado a las 9:00 horas, terminando a las 14:10 horas del mismo día, dando cinco repeticiones necesarias, considerando de cero a cinco, diez, 15 y 30 minutos.

Figura 8

Curva de infiltración – Tiempo acumulado versus velocidad de infiltración promedio



Nota: de la Figura 8, se podría deducir una distribución homogénea, desde el inicio hasta el final de la prueba, los resultados analizados se describen a continuación.

Función de la velocidad de infiltración instantánea (I):

$$I = d(I_{cum})/dt$$

$$I = 1,296 T^{-0,62}$$

B) Tiempo y velocidad básica de infiltración (VBI):

$$T_b = -600 b \text{ en minutos} = 373 \text{ min.}$$

entonces la tasa de la V.B.I. es:

$$I_b = 0,033 \text{ cm/min} = 19,51 \text{ mm/hora}$$

Cálculo de número de paneles solares

Datos de entrada



Caudal: 7.20 m³/h

Temperatura: 10 °C

Altura: 27 m

Longitud: 96 m

Eficiencia: 0.85

Diámetro: 2 pulg.

Densidad: 997.38 kg/m³

Viscosidad: 0.000911 kg/ms

Rugosidad: 0.0015 mm

Datos calculados

Área: 0.0020 m²

Velocidad: 0.9868 m/s

Numero de Reynolds (Re): 54,880.4501

Coefficiente de Fricción (f): 0.0219 mm

Perdida T. (hT): 0.1465

Perdida de carga: 27.1962 m

Potencia (hp): 0.8393

Potencia de la bomba redondeada (HP): 1.0000



Potencia del motor (HP): 1.1500

Potencia del motor redondeada (HP): 2.0000

Las especificaciones técnicas de la bomba son:

Potencia: 2 HP (1,500 W)

Tensión: 110 V

Frecuencia: 60 Hz

Velocidad: 3,450 r/min

Diámetro Salida: 2"

Máxima profundidad: 80 m

Flujo máximo: de 120 L/min hasta 160 L/min

Altura máxima: hasta los 80 m

Ciclo de trabajo: 50 minutos de trabajo por 20 minutos de descanso

Máximo diario: 6 Horas

Altura: 94 cm

Diámetro: 9 cm

Peso: 16.3 kg

Tabla 7

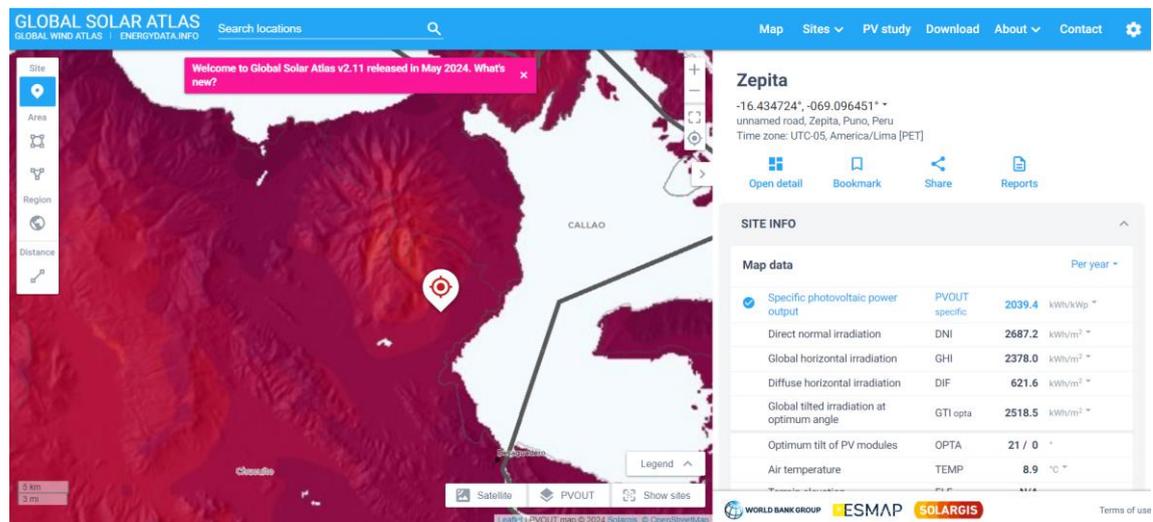
Estimación de la carga

Equipo	Cantidad	Consumo en Watos	Horas de uso al día	Consumo energía Watos hora
“Bomba de 2 HP”	1.00	1,000.00	5.00	5,000.00
“Potencia máxima necesaria”		1,000.00		
Total consumo de energía				5,000.00

Nota: Para el bombeo hacia el reservorio se requiere una bomba de 2 HP, para el bombeo de 27 metros de altura, para un caudal de 2 l/s, para el riego de 0,60 ha. Las características de las bombas cumplen con las necesidades que se requieren para el riego familiar, tanto en el caudal y la altura de impulsión.

Figura 9

Mapa del recurso solar



Nota: Para determinar la cantidad de paneles solares necesarios para el sistema de bombeo de agua hacia el reservorio, consideramos los siguientes datos:

Potencia de la bomba: 2 HP

Altura de bombeo: 27 metros

Caudal: 2 l/s



Área de riego: 0.60 ha

Horas de funcionamiento diarias: Se asume 6 horas de funcionamiento diario.

Eficiencia del sistema: Se considera una eficiencia del 85% para el sistema de bombeo.

Radiación solar promedio diaria: 5.25 kWh/m² (valor basado en la ETP máxima de la región)

Paso 1: Convertir la potencia de la bomba a kilovatios (kW)

$$1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia de la bomba en: kW} = 2 \text{ HP} \times 0.7457 \text{ kW/HP} = 1.4914 \text{ kW}$$

Paso 2: Calcular la energía diaria requerida por la bomba

$$\text{Energía diaria} = \text{Potencia de la bomba} \times \text{Horas de funcionamiento diarias}$$

$$\text{Energía diaria} = 1.4914 \text{ kW} \times 6 \text{ horas} = 8.9484 \text{ kWh/día}$$

Paso 3: Considerar la eficiencia del sistema

La eficiencia del sistema incluye las pérdidas en el inversor, cables, y otros componentes.

$$\text{Energía diaria ajustada} = \text{Energía diaria} / \text{Eficiencia del sistema}$$

$$\text{Energía diaria ajustada} = (8.9484 \text{ kWh/día}) / 0.85 = 10.5287 \text{ kWh/día}$$



Paso 4: Calcular la cantidad de energía que debe ser generada por los paneles solares

Energía generada por los paneles = Energía diaria ajustada/Radiación solar promedio diaria

$$\text{Energía generada por los paneles} = (10.5287 \text{ kWh/día}) / (5.25 \text{ kWh/m}^2) = 2.0044 \text{ kW}$$

Paso 5: Seleccionar los paneles solares y calcular la cantidad necesaria

Asumiendo que se utilizarán paneles solares de 330 W cada uno:

Número de paneles = (Energía generada por los paneles \times 1000) / (Potencia de cada panel)

$$\text{Número de paneles} = (2.0044 \text{ kW} \times 1000) / (330 \text{ W})$$

$$\text{Número de paneles} = ((2004.4 \text{ W}) / (330 \text{ W/panel})) = 6.07$$

Redondeando hacia arriba, se necesitan 7 paneles solares de 330 W cada uno para garantizar que se cubra la energía requerida para el sistema de bombeo.

Para el bombeo hacia el reservorio de una bomba de 2 HP, con una altura de bombeo de 27 metros y un caudal de 2 l/s, se necesitan 7 paneles solares de 330 W cada uno para proporcionar la energía necesaria de manera eficiente y sostenible.

Figura 10

Características del panel solar



Nota: El panel solar de 300W y 24V policristalino ERA es una solución ideal para suministrar energía a viviendas con diversos tipos de consumos. Este panel de 300W y 24V, compuesto por 72 células de alto rendimiento de tipo policristalino, ofrece una gran capacidad de producción a un costo muy competitivo. Además, incluye cables de 90 cm en cada polo en la parte trasera del panel, facilitando su conexión.

Diseño hidráulico

A. Información requerida

“Evapotranspiración Potencial” (ETP): 5.25 mm/día

“Coeficiente del Cultivo” (Kc): 0.69 (Máximo)



“Evapotranspiración Real” (ETR): 3.63 mm/día

“Área a Irrigar Calculado” (A): 6.80 ha

“Área a Irrigar según Área Real” (A): 0.60 ha

“Área a Irrigar” (A): 0.60 ha

“Velocidad del Viento” (Vv): 3.00 m/s

“Velocidad de Infiltración Básica” (Ib): 19.5 mm/h

“Cultivo Proyectado”: Pastos, Papa, avena forrajera, etc.

“Jornadas de Trabajo” (J): 24 horas/día

“Eficiencia de Riego” (Er): 75%

“Caudal de Diseño” (Qd): 0.310 l/s

“Caudal Disponible” (Qd): 2.00 l/s

B. Cálculos de demanda hídrica

1.- Lamina neta (Ln): $Ln = 30.24$ mm

“Cultivo: Lámina Requerida”

“Pastos” (Ln): 3.024 cm

“Papa” (Ln): 1.260 cm

“Lámina Neta Máxima” (Ln): 3.024 cm

2.- Lamina Real o Bruta (Lr): $Lr = (Ln/Er)$ $Lr = 40.32$ mm

“Lamina neta” (Ln): $Ln = 3.02$ mm



“Eficiencia de Riego”: $E_r = 75 \%$

3.- Intervalo de riego (IR): $IR = L_n/ETR$ $IR = 9.0$ Días

“Evapotranspiración Real”: $ETR = 3.63$ mm/día

“Lamina neta” (L_n) $L_n = 30.24$ mm

$IR = 8.32$ Días

4.- Caudal Preliminar: $Q = (27,8 * L_r * A)$ $Q = 0.310$ lt/seg

($IR * J$)

“Lámina Real” (L_r): 40.32 mm (4.032 cm)

“Área a Irrigar” (A): 0.60 ha

“Intervalo de Riego” (IR): 9.0 días

Tiempo de Trabajo (J): 24.00 horas/día

5.- Taza de aplicación: $T_a = L_r/J$ $T_a = 1.680$ mm/h

“Lamina real” (L_r) = 40.32 mm 4.032 cm

“Tiempo de trabajo” (J) = 24.00 horas/día

6.- Caudal para Selección de Aspersor: $q_a = (E_a * E_l * T_a)$ $q_a = 0.051$ lt/seg

3600

“Taza de aplicación”: $T_a = 1.680$ mm/h



C. Características hidráulicas de los aspersores

“Especificaciones de diseño de los aspersores marca”: VYR 30

“Diámetro de boquillas del aspersor” (f): 4.0 mm

“Espaciamiento de aspersores” (Ea): 10.5 m

“Espaciamiento de laterales” (El): 10.5 m

“Pluviometría del aspersor” (Pp): 5.442 mm/h

“Presión de trabajo” (Po): 1.00 Atm

“Caudal del aspersor” (qa): 0.60 m³/h (0.167 l/s)

“Diámetro de alcance del chorro” (D): 21.0 m

Tabla 8

Cálculo de presión

CALCULO DE PRESIONES EN TUBERIA PVC

RED DE CONDUCCIÓN - MOLINO KAPIA

TRAMO	PROGRESIVA		COTA DE TERRENO		Caudal	Diametro Comercial (pulg)	Clase de Tubería (C)	Longitud Real (m)	Diametro Interior (mm)	Velocidad 0.6<v<3.0 (m/s)	Velocidad (m/s)	Perdida de Carga (m)	COTA PIEZOMETRICA		PRESION
	DE	A	Inicial	Final									Inicial	Final	
Cap 1 - Reser	-	96.00	3,945.00	3,972.00	2.000	2.00	5.00	99.70	56.40	0.80	0.80	1.19	3,945.00	3,943.81	(28.19) (27.00)

RED DE DISTRIBUCION - MOLINO KAPIA

TRAMO	PROGRESIVA		COTA DE TERRENO		Caudal	Diametro Comercial (pulg)	Clase de Tubería (C)	Longitud Real (m)	Diametro Interior (mm)	Velocidad 0.6<v<3.0 (m/s)	Velocidad (m/s)	Perdida de Carga (m)	COTA PIEZOMETRICA		PRESION
	DE	A	Inicial	Final									Inicial	Final	
Reserv - H1	-	94.00	3,972.00	3,939.00	2.000	2.00	5.00	99.60	56.40	0.80	0.80	1.18	3,972.00	3,970.82	31.82 33.00
H1 - H2	94.00	67.00	3,939.00	3,935.00	2.000	2.00	5.00	27.30	56.40	0.80	0.80	0.32	3,970.82	3,970.49	35.49 37.00
H2 - H3	67.00	61.50	3,935.00	3,934.00	2.000	2.00	5.00	5.60	56.40	0.80	0.80	0.07	3,970.49	3,970.42	36.42 38.00
H3 - H4	61.50	71.40	3,934.00	3,933.00	2.000	2.00	5.00	10.00	56.40	0.80	0.80	0.12	3,970.42	3,970.31	37.31 39.00

Para el diseño de un sistema de bombeo de agua alimentado con energía fotovoltaica, es crucial entender las diferencias entre la presión dinámica y la presión estática en el sistema. Las presiones medidas son esenciales para asegurar que la bomba seleccionada pueda manejar las condiciones del sitio de manera efectiva.



Datos de Presión

Presión Dinámica (m): La presión medida mientras el sistema está en operación.

Presión Estática (m): La presión medida cuando el sistema está en reposo, sin flujo de agua.

Los valores medidos son los siguientes:

Análisis de los resultados

Diferencia entre presión dinámica y estática:

La presión estática es siempre mayor que la presión dinámica.

La diferencia entre la presión estática y la presión dinámica se debe a las pérdidas por fricción en las tuberías y a la resistencia de los componentes del sistema de riego durante el flujo.

Cálculo de pérdidas por fricción:

Para entender mejor las condiciones del sistema, calculamos la diferencia entre la presión estática y la dinámica.

La diferencia aumenta ligeramente a medida que las presiones medidas también aumentan, lo cual es típico debido a las mayores velocidades del agua y las correspondientes pérdidas por fricción.



Interpretación de resultados:

Presión Dinámica: La presión dinámica es la que la bomba necesita generar para superar las pérdidas en el sistema y asegurar el flujo requerido. En este caso, varía entre 25.84 m y 28.33 m.

Presión Estática: La presión estática representa la altura total que el sistema debe vencer cuando no hay flujo, solo la columna de agua. Los valores están entre 27.00 m y 30.00 m.

Diferencias de Presión: Las diferencias observadas entre 1.16 m y 1.67 m indican las pérdidas por fricción y otras resistencias dentro del sistema, lo cual es normal y debe ser considerado en el diseño del sistema de bombeo.

Los argumentos de los resultados:

Eficiencia del sistema de bombeo:

La bomba seleccionada debe ser capaz de manejar tanto la presión dinámica como la estática para asegurar un funcionamiento eficiente. La presión dinámica nos indica la carga adicional debida a las pérdidas por fricción, que deben ser superadas para mantener el flujo de agua.

Selección de la bomba:

Con base en las presiones dinámicas y estáticas, la bomba debe tener una capacidad de al menos 30 m para manejar las condiciones más exigentes (presión estática máxima). Adicionalmente, debe ser capaz de superar las pérdidas de fricción para mantener el caudal de 2 l/s.



Optimización del sistema:

Las pérdidas por fricción deben ser minimizadas mediante el uso de tuberías adecuadas, con el menor número posible de codos y restricciones. El diseño debe considerar materiales y diámetros de tubería que reduzcan estas pérdidas.

Seguridad y confiabilidad:

La diferencia entre las presiones indica que el sistema está bien dimensionado, con las pérdidas de presión dentro de un rango manejable. Esto asegura que el sistema de riego funcionará de manera confiable bajo diferentes condiciones operativas.

La evaluación de las presiones dinámica y estática en el sistema de bombeo es crucial para seleccionar y dimensionar correctamente la bomba. Los datos obtenidos aseguran que el diseño del sistema de bombeo será eficiente y sostenible, proporcionando un flujo adecuado para el riego en la comunidad campesina Molino Kapia. La bomba debe ser capaz de manejar una presión estática de hasta 30 m y compensar las pérdidas por fricción indicadas por las diferencias de presión dinámica y estática observadas.



Nota: Para el sistema de riego se tiene una presión de 25 a 30 metros de columna de agua para el funcionamiento, el cual implica que si cumple con las características de los aspersores y el área a irrigar.

4.3. DISCUSIÓN

La implementación de sistemas de bombeo de agua alimentados por energía fotovoltaica ofrece múltiples beneficios económicos y ambientales. Al eliminar la dependencia de combustibles fósiles, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y la mitigación del cambio climático (Dessler, 2021). Además, los costos operativos disminuyen significativamente, ya que la energía solar es gratuita y abundante. La rentabilidad del sistema se ve reforzada por la vida útil de los paneles solares, que puede superar los 20 años, y por la disminución en los gastos de mantenimiento en comparación con los sistemas de bombeo convencionales.

La importancia de la radiación solar, para diseñar un sistema de bombeo de agua alimentado con energía fotovoltaica (FV), es fundamental conocer la cantidad de energía solar disponible en la comunidad campesina Molino Kapia. La radiación solar directa y global influye directamente en la capacidad de generación de energía de los paneles solares y, por ende, en la eficiencia del sistema de bombeo (Deambi, 2016).

Los métodos para determinar la radiación solar, se basaron como la recolección de datos climáticos; así como las estaciones meteorológicas locales: la instalación de estaciones meteorológicas en Molino Kapia permitirá la recolección de datos específicos sobre la radiación solar, temperatura, humedad y otros parámetros relevantes. Las bases de datos satelitales: utilizar datos de fuentes como NASA Surface Meteorology and Solar



Energy (SSE) o SolarGIS proporciona una visión a largo plazo y con alta precisión de la radiación solar en la región (Cruz & Núñez, 2014).

El análisis de datos, como los promedios diarios y anuales; se han calculado el promedio diario y anual de radiación solar ayudará a entender los patrones de disponibilidad de energía solar. La variabilidad estacional, nos ha permitido identificar la variabilidad estacional permitirá diseñar un sistema que funcione eficientemente durante todo el año, ajustando el almacenamiento de agua y energía según sea necesario.

Como resultados esperados, se ha tenido la radiación solar promedio, en donde se espera obtener valores precisos de radiación solar promedio diaria y anual, lo que proporcionará una base sólida para el dimensionamiento del sistema FV. Los patrones de radiación identifican los periodos de mayor y menor radiación solar para planificar el almacenamiento de agua y la gestión de la demanda de energía.

La radiación solar disponible es un factor determinante para el diseño de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos (Hahn et al., 2023; Spellman, 2016). En la comunidad campesina Molino Kapia, la variabilidad estacional de la radiación solar influye en la capacidad de generación de energía del sistema (Kumar & Prajapati, 2023). Por lo tanto, es crucial contar con datos precisos y detallados para garantizar que el sistema de bombeo sea eficiente y capaz de satisfacer las necesidades de riego durante todo el año (National Academies of Sciences Engineering and Medicine, 2023). Además, la integración de un sistema de almacenamiento de agua permitirá superar los periodos de baja radiación solar, asegurando un suministro constante y eficiente (Deambi, 2016).

Para el proceso de dimensionamiento del sistema de bombeo, se ha considerado la determinación de la demanda de agua, así como el requerimiento de riego para calcular



la cantidad de agua necesaria para los cultivos en Molino Kapia, considerando factores como el tipo de cultivo, la superficie cultivada y las prácticas de riego.

El consumo estacional para analizar la variabilidad en la demanda de agua a lo largo del año para identificar los picos de consumo y ajustar el diseño del sistema en consecuencia.

La selección de la bomba de agua, se ha elegido una bomba que se ajuste a la altura de elevación (head) y al caudal requerido. Las bombas de corriente continua (DC) diseñadas específicamente para sistemas fotovoltaicos suelen ser más eficientes en estas aplicaciones. La eficiencia de la bomba: evaluar la eficiencia de la bomba en diferentes condiciones operativas para asegurar que puede satisfacer las demandas de riego de manera confiable.

El dimensionamiento de los paneles solares, se ha basado en la radiación solar promedio y la demanda energética de la bomba, calcular el número de paneles solares necesarios para generar suficiente energía. La orientación y ángulo de inclinación para optimizar la orientación y el ángulo de inclinación de los paneles para maximizar la captación de energía solar durante todo el año. El sistema de almacenamiento se ha diseñado para almacenar agua durante periodos de alta radiación solar y utilizarla durante periodos de baja radiación (Deambi, 2016).

Para validar esta hipótesis, se realizaron estudios y mediciones de la radiación solar en la comunidad campesina Molino Kapia. Los datos obtenidos de estaciones meteorológicas locales y fuentes satelitales confirmaron que la radiación solar promedio en la región es suficiente para operar un sistema fotovoltaico de bombeo de agua. La radiación solar adecuada asegura que los paneles solares puedan generar la energía



necesaria para el funcionamiento continuo y eficiente del sistema de bombeo. La variabilidad estacional de la radiación solar también se tuvo en cuenta, demostrando que incluso en los meses de menor radiación, el sistema puede funcionar de manera efectiva con un diseño y dimensionamiento adecuado.

Como resultados esperados del sistema de bombeo eficiente para un sistema bien dimensionado que maximiza la eficiencia energética y cumple con las necesidades de riego de la comunidad. Los costos y beneficios para evaluar el costo inicial del sistema frente a los beneficios a largo plazo, incluyendo el ahorro en costos de agua y el aumento de la productividad agrícola.

El dimensionamiento adecuado del sistema de bombeo de agua fotovoltaico es crucial para garantizar su eficiencia y sostenibilidad (Kumar & Prajapati, 2023). Un sistema sobredimensionado puede resultar en costos innecesarios, mientras que un sistema subdimensionado podría no satisfacer las necesidades de riego, afectando negativamente la producción agrícola (Gupta et al., 2023). La integración de tanques de almacenamiento de agua es esencial para asegurar un suministro continuo durante los periodos de baja radiación solar (Clavitea et al., 2023; Eslamian & Eslamian, 2023). Además, la evaluación económica del sistema permitirá tomar decisiones informadas sobre la inversión en tecnología fotovoltaica, asegurando que sea una solución viable y rentable para la comunidad campesina Molino Kapia.

La determinación precisa de la radiación solar y el dimensionamiento adecuado del sistema de bombeo son fundamentales para el éxito del proyecto (Goyal & Singh, 2017; Hahn et al., 2023; Klemeš, 2022). Estos pasos asegurarán que el sistema sea eficiente, sostenible y capaz de mejorar la productividad agrícola en Molino Kapia, beneficiando a la comunidad a largo plazo.



El uso de energía fotovoltaica para sistemas de bombeo de agua en la comunidad campesina Molino Kapia no solo es viable, sino también beneficioso desde una perspectiva económica y ambiental (Deambi, 2016). La confirmación de que la radiación solar en la región es suficiente y que un dimensionamiento adecuado puede satisfacer las necesidades de riego, refuerza la hipótesis de que este enfoque es una alternativa sostenible y rentable en comparación con las fuentes de energía convencionales. La implementación de este sistema puede servir como modelo para otras comunidades rurales que buscan soluciones sostenibles para el manejo del agua y la energía.



V. CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de bombeo de agua para riego que utiliza energía fotovoltaica como fuente de alimentación, cumpliendo con el objetivo general de la investigación. Este diseño, específicamente desarrollado para la comunidad campesina Molino Kapia en el distrito de Zepita, garantiza una solución práctica y eficiente para satisfacer las necesidades de riego, promoviendo así una mayor autosuficiencia agrícola.
- La radiación solar existente en la comunidad campesina Molino Kapia, se ha obtenido los siguientes valores: radiación neta solar de $14,9 \text{ W/m}^2$, radiación neta de onda larga de $3,56 \text{ W/m}^2$ y radiación neta total de $11,37 \text{ W/m}^2$. Estos datos fueron fundamentales para dimensionar adecuadamente el sistema de bombeo de agua, asegurando su funcionamiento eficiente y sostenible. La metodología aplicada para la medición de la radiación solar aporta un conocimiento valioso para futuros estudios en la región.
- El dimensionamiento del sistema de bombeo, se ha considerado la radiación solar disponible y los requerimientos del cultivo. Determinándose una bomba de 2 HP, con un consumo de 1000 vatios, operando durante 5 horas efectivas diarias, es capaz de producir los 5000 vatios necesarios para el riego por aspersión. Este dimensionamiento asegura que el sistema es capaz de suministrar un caudal de 2 l/s para irrigar un área de 0,60 hectáreas, siendo un prototipo viable para uso familiar.
- La implementación de energía fotovoltaica como fuente para el sistema de bombeo no solo asegura la disponibilidad de agua para riego, sino que también contribuye a la sostenibilidad energética y la protección del medio ambiente. Este enfoque reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables y minimiza la huella de carbono de



las actividades agrícolas en la comunidad, demostrando la viabilidad y beneficios de las energías renovables en zonas rurales.

- La investigación resalta la importancia de integrar fuentes de energía renovable en el diseño de sistemas de bombeo de agua para riego en comunidades rurales. La investigación aporta un modelo replicable que puede ser adaptado a otras comunidades con condiciones similares, promoviendo el desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida de los habitantes. Además, la combinación de conocimientos técnicos y prácticos en la implementación de sistemas de riego fotovoltaicos contribuye significativamente al campo de la ingeniería agrícola y la gestión de recursos hídricos.



VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo un monitoreo regular de la radiación solar en la comunidad campesina Molino Kapia para tener datos actualizados y precisos que permitan optimizar el funcionamiento del sistema de bombeo.
- Es crucial establecer un programa de mantenimiento preventivo para el sistema fotovoltaico, incluyendo paneles solares, inversores y baterías, con el fin de asegurar su eficiencia a largo plazo.
- Se recomienda proporcionar capacitación a los miembros de la comunidad sobre el uso adecuado y mantenimiento básico del sistema de bombeo alimentado por energía fotovoltaica. Esto asegura su operación eficiente y prolongada.
- Considerar la posibilidad de expansión del sistema para cubrir una mayor área de riego o para servir a más familias en la comunidad. Esto podría requerir un dimensionamiento adicional del sistema y la adición de más paneles solares.
- Se sugiere evaluar la posibilidad de implementar sistemas de almacenamiento de agua para asegurar un suministro constante en momentos de baja radiación solar o en épocas de sequía.
- Fomentar el uso eficiente del agua y técnicas de riego que minimicen el desperdicio y promuevan la conservación del recurso hídrico.
- Establecer un programa de seguimiento y evaluación para medir el desempeño del sistema a lo largo del tiempo y realizar ajustes si es necesario.
- Explorar la posibilidad de integrar tecnologías innovadoras que puedan mejorar la eficiencia y la capacidad de almacenamiento del sistema.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al, H. H. (2023). *The future of solar power* [Book]. Nova Science Publishers, Inc. <https://doi.org/10.52305/VFIO3684>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta.* Episteme.
- Arizaca, A. (2022). *Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla* Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, PE. <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18991>
- Ashby, M. F. (2023). *Materials and sustainable development* (Vol. 3). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-00557-5>
- Baena, G. M. E. (2017). *Metodología de la investigación (3a. ed.)*. Grupo Editorial Patria.
- Bermeo, E., & Silva, A. (2022). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado Puerto Tamborapa, distrito Chirinos-San Ignacio* Universidad Nacional de Jaén, Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica]. Jaén, PE. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/407>
- Cerna, L. E. (2021). *Diseño del sistema de bombeo con energía sustentable para abastecer agua de riego al anexo Chakiqpampa–Vinchos–Huamanga–Ayacucho* Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil]. Lima, PE. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/82795>
- Clavitea, A., Mamani, J. A., Huaquisto, E., Alfaro, R., & Belizario, G. (2023). *Uniformity of water distribution in sprinkler irrigation mini-cannons in a high Andean community in Peru* 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2023), Tashkent, Uzbekistan. 10.1051/e3sconf/202343403028



- Cruz, C., Olivares, S., & González, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Cruz, V. M., & Núñez, T. E. (2014). Diseño de tres sistemas fotovoltaicos para la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica. *Electrónica - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 17, 18 p.
- Dávalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío La Guayaba, Distrito de Bellavista, Jaén – Cjamarca* Universidad Nacional de Jaén, Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica]. Jaén, PE. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/71>
- Deambi, S. (2016). *Photovoltaic system design: Procedures, tools and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372181>
- Dessler, A. E. (2021). *Introduction to Modern Climate Change* (3 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108879125>
- Dierwechter, Y. (2021). *Climate Change and the Future of Seattle*. Anthem Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv22d4tcq>
- Distefano, T. (2020). *Water resources and economic processes* [Book]. Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.4324/9780429025013>
- Domínguez, M. C., Medina, M. d. C., & Martínez, M. I. (2018). *Metodología de investigación para la educación y la diversidad*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=725231>
- Dwivedi, S., & Dwivedi, N. (2023). *Bionanotechnology Towards Green Energy: Innovative and Sustainable Approach*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003316374>
- Eslamian, S., & Eslamian, F. (2023). *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429290152>



- Flores, F., & Villamar, J. (2012). Elementos para el desarrollo de presentaciones académicas en PowerPoint. *Investigación en Educación Médica*, 1(3), 152 - 156 p. <https://www.elsevier.es/es-revista-investigacion-educacion-medica-343-articulo-elementos-el-desarrollo-presentaciones-academicas-X2007505712427243>
- Fresno, C. (2019). *Metodología de la investigación: así de fácil*. El Cid Editor. <https://reddolac.org/profiles/blogs/libro-metodologia-de-la-investigacion-asi-de-facil>
- Fuentes, D. D., Toscano, A. E., Malvaceda, E., Díaz, J. L., & Díaz, L. (2020). *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables* (1 ed.). Universidad Pontificia Bolivariana. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-879-9>
- Gallardo, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación: Manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental.
- Goyal, M. R., & Singh, A. (2017). *Micro Irrigation Engineering for Horticultural Crops: Policy Options, Scheduling, and Design*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781315207421>
- Gupta, A. K., Uddameri, V., Majumder, A., & Nimbhorkar, S. K. (2023). *Wastewater engineering: Issues, trends, and solutions*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003364450>
- Hahn, Y.-B., Mahmoudi, T., & Wang, Y. (2023). *Next-Generation Solar Cells: Principles and Materials*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003372387>
- He, Y. (2023). *The Agricultural Civilization of Ancient China* [Book]. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8469-3>
- Hospital, K. M., & González, L. D. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca* Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica]. Bogotá, CO. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10814>



- Jamachi, Z. G. (2023). *Evaluación de aspersores en el sistema de riego tecnificado de la localidad de Jipata, 2023* Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola]. Puno, PE. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20762>
- Jara, J., & Ramos, J. S. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica* Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, PE. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6784>
- Karim, S. A. A., & Puspitasari, P. (2023). *Advanced Materials towards Energy Sustainability: Theory and Implementations* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003367819>
- Kemmis, S., & Mctaggart, R. (1988). *Cómo planificar la investigación-acción*, Barcelona. Laertes.
- King, M. D. (2021). *Water and conflict in the middle east* [Book]. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197552636.001.0001>
- Klemeš, J. J. (2022). *Handbook of process integration (PI): minimisation of energy and water use, waste and emissions*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01220-X>
- Krishna, K. R. (2023). *The agricultural sky: A concept to revolutionize farming* [Book]. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003328247>
- Kumar, A., & Prajapati, S. (2023). *Solar powered wastewater recycling* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003407690>
- Kumar, A., Singh, V. P., Meena, C. S., & Dutt, N. (2023). *Thermal Energy Systems: Design, Computational Techniques, and Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003395768>
- Lara, F. A. (2007). *Diseño de un sistema de riego por medio de energía solar, a través de paneles fotovoltaicos* Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Mecánica, Universidad Austral de Chile]. Chillán, CL.



- Mancila, L., Soler, C., & Morón, C. (2018). La investigación-acción en la formación del profesorado. Nuevas perspectivas desde el Proyecto Roma. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 32(2), 123 - 137 p.
- Munive, S. D., & Pereira, J. C. (2022). *Diseño de un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego en un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia* Universidad Antonio Nariño - Cartagena, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica]. Cartagena, CO. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6849>
- Murillo, F. J. (2003). El movimiento teórico-práctico de mejora de la escuela: algunas lecciones aprendidas para transformar los centros docentes. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 1(2), 1 - 22 p.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine. (2023). *The Role of Net Metering in the Evolving Electricity System*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26704>
- Nyberg, D., Wright, C., & Bowden, V. (2022). *Organising Responses to Climate Change: The Politics of Mitigation, Adaptation and Suffering*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009266901>
- Patankar, K. A., Kalantar, T., Cook, S., Nicoli, E., Tuft, B., & Crimmins, M. (2023). Chapter 22 - Application of high-throughput methodologies and artificial intelligence for adhesion testing. In D. A. Dillard (Ed.), *Advances in Structural Adhesive Bonding (Second Edition)* (pp. 751 - 775). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91214-3.00020-X>
- Patil, P. G., Virdin, J., Colgan, C. S., Hussain, M. G., Failler, P., & Vegh, T. (2018). *Toward a blue economy: A pathway for bangladesh's sustainable growth* [doi:10.1596/30014]. World Bank.
- Revueltas, J. E., Zabaleta, A., Mercado, T., & Aguirre, S. (2020). Cambios en el clima local y su efecto en la regulación hídrica en microcuencas del departamento del Magdalena, Norte de Colombia. *Información tecnológica*, 31(6), 193 - 206 p. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600193>



- Rousseau, R., Egghe, L., & Guns, R. (2018). Chapter 2 - Scientific Research and Communication. In R. Rousseau, L. Egghe, & R. Guns (Eds.), *Becoming Metric-Wise* (pp. 11-35). Chandos Publishing.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas* (Vol. 3). Biblioteca Lascasas. <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Sangucho, J. L., & Villacis, B. G. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de bombeo de agua, alimentado por un sistema fotovoltaico para riego por goteo en el barrio Rumipamba de Navas-Salcedo* Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería Eléctrica]. Latacunga, EC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7867>
- SENAMHI. (2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- SENAMHI. (2022). *Portal del SENAMHI: Modulo para la estimación de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Retrieved 30 de enero from <https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>
- SENAMHI. (2024). *Portal del SENAMHI: Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Retrieved 30 de enero from <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Serna, E. (2013). *Libro Blanco de la Ingeniería de Software en América Latina*. Instituto Antioqueño de Investigación (IAI).
- Silver, J. J., Gray, N. J., Campbell, L. M., Fairbanks, L. W., & Gruby, R. L. (2015). Blue economy and competing discourses in international oceans governance. *Journal of Environment & Development*, 24(2), 135 - 160 p.
- Spellman, F. R. (2016). *Water and wastewater conveyance: Pumping, hydraulics, piping, and valves* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315367125>



- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.
- UNESCO. (2021). *The United Nations world water development report 2021: valuing water*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021/>
- Valderrama, S. R. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. San Marcos.
- Vargas, B. S., & Castillo, J. D. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo de agua subterránea con energía solar fotovoltaica para riego en la comunidad de Valencia* Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología, Carrera de Electromecánica]. La Paz, BO. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/21024>
- Volpi, G., Jannuzzi, G., Dourado, R., & Gomes, M. (2006). A sustainable electricity blueprint for Brazil. *Energy for Sustainable Development*, 10(4), 14 - 24 p.
- Wood, P., & Smith, J. (2017). *Investigar en educación: conceptos básicos y metodología para desarrollar proyectos de investigación*. Narcea Ediciones.
- Woodmansee, R. G., Moore, J. C., Ojima, D. S., & Richards, L. (2021). *Natural Resource Management Reimagined: Using the Systems Ecology Paradigm* (R. G. Woodmansee, J. C. Moore, D. S. Ojima, & L. Richards, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108655354>
- Kumar, L. A., Lakshmi Prasad, C. N., Ramaraj, G., & Sivasurya, G. (2022). Design, simulation of different configurations and life-cycle cost analysis of solar photovoltaic–water-pumping system for agriculture applications: use cases and implementation issues. *Clean Energy*, 6(2), 335-352. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac018>



ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico

Figura 12

Vista de la zona de riego



Figura 13

Vista de la fuente de agua



Figura 14

Vista de la prueba de infiltración



Figura 15

Vista del levantamiento topográfico



Figura 16

Vista del levantamiento topográfico – fuente de agua



Figura 17

Vista del punto de estación para el levantamiento topográfico





ANEXO 2: Precipitación mensual

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1965	X	X	84.00	8.00	3.40	0.00	4.00	0.00	46.10	16.80	74.50	205.30	
1966	64.80	95.50	52.70	27.50	12.20	0.00	0.00	0.00	13.00	58.20	66.90	98.60	489.4
1967	68.00	172.10	191.70	66.40	45.10	0.00	0.00	0.00	44.90	30.30	5.70	177.10	801.3
1968	134.30	212.00	193.80	27.00	0.00	30.70	1.00	2.00	30.90	3.50	85.50	41.10	761.8
1969	172.10	164.00	87.40	31.80	8.30	7.00	1.80	9.10	22.40	23.10	17.30	98.40	642.7
1970	148.50	196.70	166.30	44.50	3.80	0.20	3.50	0.00	30.70	34.00	24.40	177.50	830.1
1971	166.80	345.90	71.00	74.90	0.00	2.30	0.00	11.50	0.00	29.50	98.90	134.90	935.7
1972	288.90	221.00	169.20	17.80	12.90	2.70	3.80	1.60	26.90	13.40	50.00	148.50	956.7
1973	271.40	189.90	145.40	109.20	3.00	0.00	8.10	17.10	44.60	45.40	30.90	68.60	933.6
1974	269.00	357.90	60.30	193.20	55.60	4.20	0.20	101.20	22.50	32.60	29.40	38.90	1,165.0
1975	184.30	266.30	156.70	16.60	44.00	9.70	0.00	12.10	36.00	95.90	35.70	280.10	1,137.4
1976	331.20	201.20	136.30	21.00	44.00	1.00	2.40	43.60	63.40	9.50	5.90	51.10	910.6
1977	91.90	275.20	222.50	5.40	0.00	0.00	14.50	0.00	57.60	66.40	62.80	114.90	911.2
1978	250.90	99.20	117.50	19.70	0.00	0.00	4.00	8.70	22.90	0.90	88.20	147.40	759.4
1979	197.20	117.30	229.10	80.40	2.20	0.00	14.10	2.20	4.10	47.10	115.50	133.10	942.3
1980	190.30	91.40	253.20	3.40	2.40	1.40	11.90	33.70	101.00	49.20	26.20	134.80	898.9
1981	126.70	212.50	106.20	55.20	18.30	7.80	1.30	4.20	18.80	29.00	40.40	113.30	733.7
1982	166.40	239.20	137.00	60.40	18.90	8.40	0.20	9.90	26.30	23.80	36.70	120.80	848.0
1983	202.50	245.40	128.70	55.30	10.80	9.20	1.80	15.00	24.60	25.90	49.20	107.00	875.4
1984	219.50	242.00	119.40	61.10	14.90	1.90	3.00	19.20	26.40	34.80	39.70	129.60	911.5
1985	128.80	304.80	162.60	110.10	34.10	26.80	0.00	22.30	89.70	13.30	164.20	163.30	1,220.0
1986	131.50	260.10	171.70	107.00	4.30	0.00	3.60	37.30	15.20	29.80	23.40	139.50	923.4
1987	296.30	70.30	82.60	37.30	5.50	8.70	19.20	1.30	18.60	64.20	155.40	43.70	803.1
1988	300.30	70.40	249.50	124.00	9.00	0.20	1.00	0.00	22.60	58.70	27.30	96.20	959.2
1989	160.20	176.50	195.10	11.30	16.40	3.80	6.30	17.30	18.10	3.70	45.00	58.40	712.1
1990	192.00	50.80	51.40	47.70	13.60	48.50	0.00	18.90	19.90	69.30	64.30	173.70	750.1
1991	147.10	101.80	152.80	70.80	10.10	31.50	3.50	0.60	11.80	49.80	30.90	74.00	684.7
1992	159.30	130.90	40.20	32.80	0.00	0.70	3.70	40.90	0.00	24.00	72.60	60.70	565.8
1993	219.60	88.20	185.20	30.80	7.60	2.90	0.00	35.10	21.10	73.00	122.00	69.80	855.3
1994	186.50	149.10	109.50	55.40	11.70	102.44	1.60	0.80	7.10	4.30	69.20	165.30	862.9
1995	128.90	105.90	134.50	19.90	6.10	0.00	0.60	7.20	17.80	26.70	71.60	117.20	636.4
1996	195.50	127.00	137.30	32.30	18.80	0.00	9.10	38.00	4.50	26.60	77.20	101.60	767.9
1997	264.10	220.80	162.30	66.10	11.10	0.00	0.00	64.00	79.70	36.20	79.20	54.00	1,037.5
1998	132.40	77.30	150.60	62.00	0.00	13.60	0.00	0.00	12.30	75.40	66.00	51.30	640.9
1999	158.70	278.20	309.80	61.50	28.40	2.20	3.10	1.90	58.10	130.30	18.50	94.00	1,144.7
2000	275.30	236.30	138.40	16.70	10.90	14.30	0.60	17.00	1.20	62.20	1.90	119.50	894.3
2001	324.00	251.90	239.60	57.40	7.90	1.90	12.70	30.90	18.80	67.70	13.80	116.20	1,142.8
2002	145.80	216.80	239.10	134.20	8.60	16.50	42.40	10.90	3.70	39.40	37.40	107.10	1,001.9
2003	229.70	142.70	304.80	39.30	23.40	0.00	5.90	12.60	42.60	24.60	25.60	89.60	940.8
2004	322.00	115.80	68.40	54.90	11.60	2.00	34.00	49.90	25.30	11.10	25.70	126.30	847.0
2005	139.10	189.20	78.70	29.50	1.50	0.00	0.00	1.00	24.70	61.20	54.00	164.20	743.1
2006	347.20	196.80	174.10	44.60	7.10	3.30	0.00	2.30	13.90	43.50	113.60	93.90	1,040.3
2007	99.10	136.40	231.30	99.60	6.60	1.20	8.30	5.10	30.40	44.40	30.30	156.90	849.6
2008	284.70	109.50	88.70	44.40	0.80	2.50	1.20	0.50	0.70	52.00	15.90	177.30	778.2
2009	161.70	210.50	170.10	77.00	0.00	0.00	6.60	0.00	54.00	34.00	125.90	128.50	968.3
2010	236.20	217.60	107.00	25.10	42.50	0.00	78.44	9.10	4.20	17.60	13.10	117.00	867.8

Nota: SENAMHI (2024)

ANEXO 3: Velocidad del viento

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2002												
2006				NW-2.8	NW-3.3	NW-3.8	NW-3.9	NW-4.2	NW-4.5	NW-4.0	NW-4.1	NW-4.6
2007	NW-4.3	NW-3.8	NW-3.9	NW-1.8	NW-1.9	NW-1.6	NE-1.9	NW-1.8	SW-2.1	NW-2.4	NW-2.5	NW-2.1
2008	NW-1.8	NW-2.1	NW-2.1	NW-1.7	NW-2.2	NW-2.3	NW-2.0	NW-1.8	NW-2.5	NW-2.0	NW-1.3	NW-1.1
2009	NW-1.8	NW-1.4	NW-1.4	NW-1.3	NW-2.1		NW-3.0	NW-1.9	NW-2.8	NW-2.3	NW-2.0	NW-1.6
2010	NW-2.1	NW-1.9	NW-1.7	NW-1.8	NW-1.6	NW-1.6	NW-1.8	NW-1.2	NW-1.8	NW-1.9	NW-1.8	NW-1.1
2011	NW-1.5	NW-1.4	NW-1.2	NW-.9	NW-1.4	NW-1.3	NW-1.2	NW-2.0	NW-1.4	NW-1.6	NW-1.7	NW-1.9
2012	NW-1.9	NW-1.9	NW-1.4	NW-2.0			NW-2.0	NW-2.5	NW-2.3		NW-1.8	NW-1.7
2013	NW-1.5	NW-1.5	NW-1.2	NW-1.7	NW-1.6	NW-2.0	NW-2.1	NW-2.2	NW-2.8	NW-3.5	NW-2.4	NW-2.6
2014	NW-2.6	NW-2.0	NW-2.5	NW-2.3	NW-2.1	NW-2.5	NW-3.3	SW-3.0	NW-3.0	NW-2.4	NW-2.9	NW-2.9
2015		NW-2.7	NW-2.6	NW-2.5	NW-2.4	NW-2.4	SW-3.0					
2019								SW-3.0	SW-3.8	SW-3.4	SW-3.6	SW-3.8
2020	SW-2.8	SW-2.5				SW-3.2	SW-3.1	SW-4.8	SW-4.2	SW-3.2	SW-2.9	SW-2.3
2021	SW-2.0	SW-1.9	SW-1.3	SW-1.2	SW-1.8	SW-2.1	SW-1.8	SW-2.5	SW-3.0	SW-2.9	SW-1.9	SW-2.1
2022	SW-2.2	SW-2.1	SW-1.8	SW-1.3	SW-1.8	SW-2.1	SW-2.1	SW-2.3	SW-3.6	SW-3.3	SW-3.3	

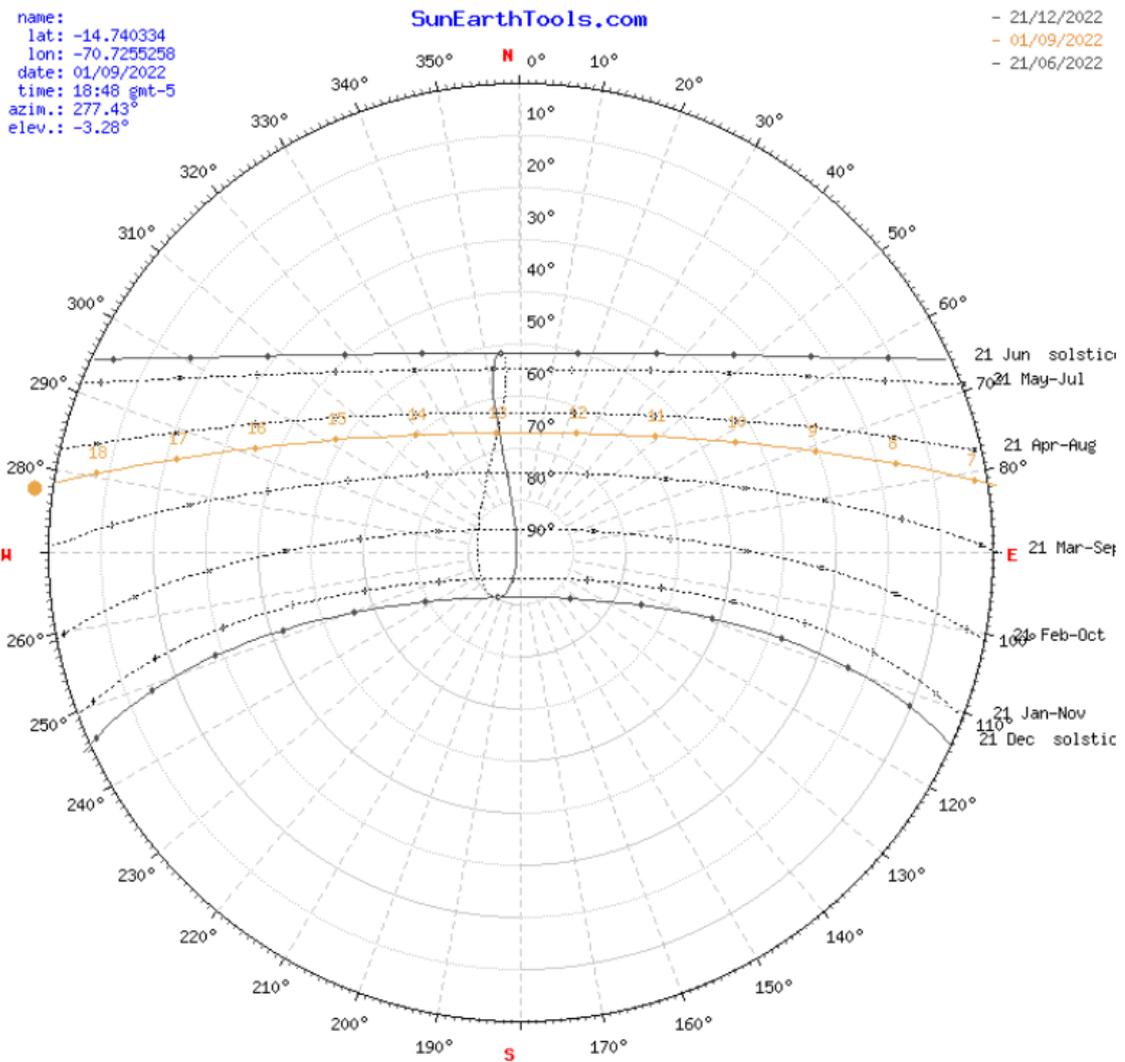
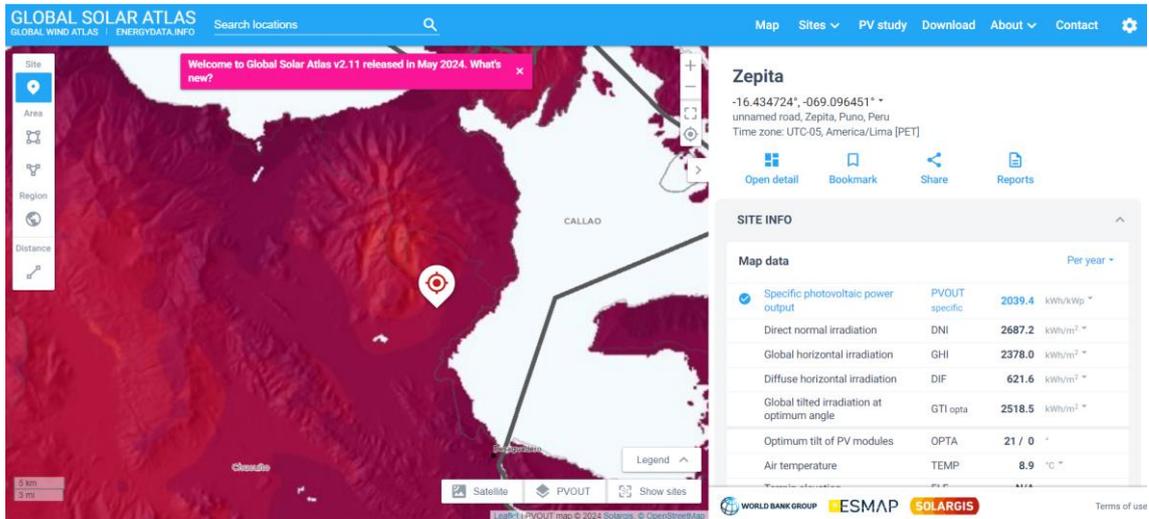
Nota: SENAMHI (2024)

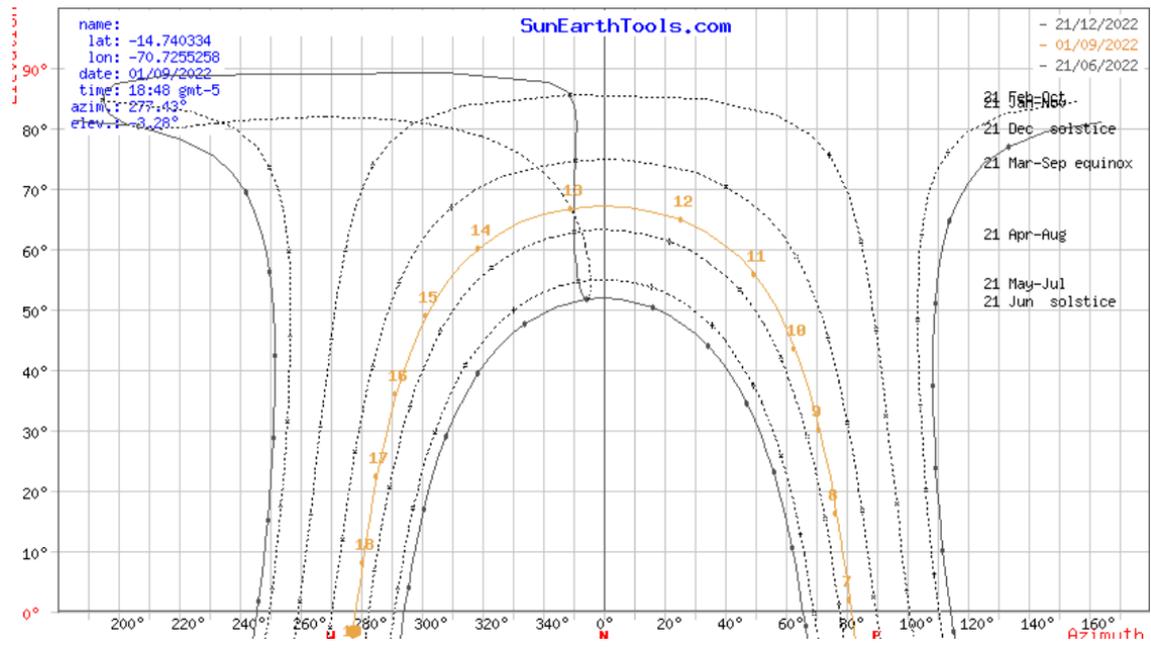
ANEXO 4: Humedad relativa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2003	86.01	88.07	87.52	86.6	81.74	73.59	67.76	62.29	67.16	61.85	66.9	76.43
2004	84.43	80.67	77.91	79.19	69.82	66.44	68.15	70.84	76.62	70.52	77.01	80.43
2005	80.14	87.47	84.68	81	78.93	73.93	70.72	67.31	71.25	82.47	83.57	85.84
2006	87.25	82.86	78.06	79.48	72.45	69.06	64.77	66.94	68.32	76.91	78.41	79.77
2007	78.49	78.91	86.45	82.73	73.05	68.04	65.62	61.22	75.69	73.45	84.14	90.44
2008	91.47	80.71	74.59	63.95	60.18	51.86	56.57	55.62	55.2	63.24	63.56	67.69
2009	74.46	79.48	73.44	66.1	61.81	59.05	56.85	56.37	56.22	56.09	62.89	73.49
2010	78.18	75.31	75.16	62.98	55.66	55.55	42.61	45.93	47.53	59.99	58.05	67.1
2011	71.44	79.12	79.15	69.35	58.64	59.74	56.85	56.74	65.21	57.61	52.99	69.23
2012	75.46	84.87	78.87	80.47	71.2	66.33	57.46	49.38	63.65	64.06	65.05	82.32
2013	80.75	83.37	75.46	71.95	73.02	64.42	63.41	53.31	60.67	71.11	66.39	77.79
2014	79.9	81.43	76.2	79.82	72.99	67.54	66.62	69.52	74.83	71.58	66.16	81.42
2015	87.89	86.07	85.47	89.19	79.86	79.01	63.18	73.41	75.25	74.84	75.89	78.39
2016	79.69	85.43	79.43	79.92	70.55	62.98	65.81	65.33	65.51	74.47	67.9	78.85
2017	83.9	77.79	83.83	83.92	78.4	65.68	65.78	55.61	71.06	66.03	70.08	77.13
2018	82.49	84.95	85.55	78.33	69.31	69.66	66.54	69.91	62.87	77.12	73.41	77.57

Nota: SENAMHI (2024)

ANEXO 5: Potencia fotovoltaica en el sitio web Atlas Solar Global





ANEXO 6: Plano de distribución del sistema de riego



LEYENDA 1	
DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
CANONILLA	
CORRIENTES DE BIVEL	
PROPIEDAD	
NOITE	
BAÑO	
PUNTO DE CONTROL	

LEYENDA TUBERIAS	
DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
LÍNEA DE IMPULSION	
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	
RED DE DISTRIBUCIÓN	
CONEXIONES A INSTANTES	

MAPA: DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE RIEGO			
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE AGUA PARA RIEGO ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA, PARA LA COMUNIDAD CAMPESINA MOLLINO KATIA, DISTRITO DE ZEPITA, PUNO, 2023			
UBICACION:		EJECUTADO:	
Dist. : Zepita	Prov. : Chucuito	DIBUJO : Shadam Jesús Serrano Rivera	PLANO N°: PD
Dpto. : Puno		REVISADO:	
		FECHA: JUNIO 2024	APROBADO:

ANEXO 7: Especificaciones técnicas de la bomba de agua



CÓDIGO: 16940 CLAVE: BOS-2LM2

Bomba sumergible tipo bala para agua limpia 2 Hp

- Motor con bobinas de cobre, 2 veces mayor durabilidad
- Capacitor para mayor potencia al arranque
- Balero metálico
- Cuerpo fabricado en acero inoxidable que la hace más resistente a la corrosión
- Unidad de control eléctrico empotrable con botón de encendido y apagado
- Rejilla filtradora de partículas de hasta 1.5 mm
- Protector térmico que evita daño en el motor cuando este llegue a bloquearse



Motor con bobinas de cobre 2x Mayor durabilidad que las de aluminio



Para agua limpia



Capacitor para mayor potencia al arranque



Balero metálico

Certificaciones y garantías



Especificaciones

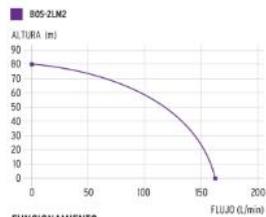
Potencia	2 HP (1,500 W)
Tensión	110 V
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3,450 r/min
Diámetro Salida	2"
Máxima profundidad	80 m
Flujo máximo	160 L/min
Altura máxima	80 m
Ciclo de trabajo	50 minutos de trabajo por 20 minutos de descanso
Máximo Diario	6 Horas

Especificaciones

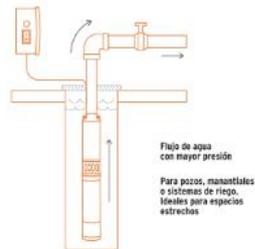
Altura	94 cm
Diámetro	9 cm
Peso	16.3 kg
Empaque individual	Caja

Imágenes complementarias

CURVA DE RENDIMIENTO



FUNCIONAMIENTO



RECOMENDACIONES



Instalar las bombas en lugares cubiertos.



Secos y bien ventilados.



En ambientes cuya temperatura no sobrepase los 40 °C.

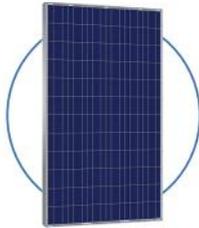


Llenar por completo la bomba con agua limpia antes de encenderla por primera vez.



Colocar las bombas en posición horizontal en lugares planos y sujetarlas con tornillos.

ANEXO 8: Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico



Módulo fotovoltaico SCL 320W PI

Los módulos fotovoltaicos de 320W y 340W optimizan el espacio de captación de radiación y se han convertido en la solución más eficiente en instalaciones con poco espacio disponible que necesitan altas cantidades de energía.

Gracias a su proceso de fabricación bajo la norma ISO 9001, alcanzan eficiencias de hasta 15,6% y cumplen los estándares de calidad y disponen de certificados IEC, TUV, ETL, MCS, CE. Estos hechos atribuyen calidad, seguridad y fiabilidad a nuestros módulos ofreciendo una garantía de producto de 12 años y una garantía de potencia hasta 25 años.



Aplicaciones

- ① Instalaciones aisladas con consumo diario
- ② Bombeos con poco terreno disponible
- ③ Edificios con alta cantidad de viviendas
- ④ Otras aplicaciones de alto consumo



Amplia gama

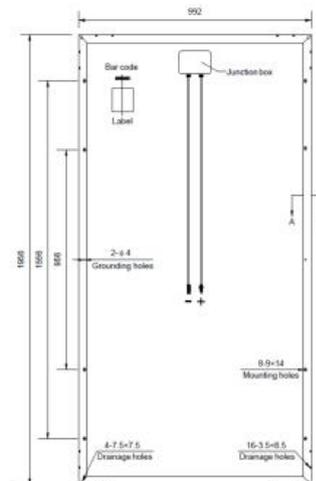
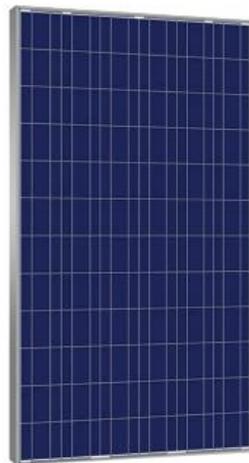


Excelente relación
calidad-precio



Tolerancia 0+3%

Visualización



Características técnicas

Medida	SCL-320PI
Potencia máxima (Pmax) [w]	320
Voltaje a potencia máxima (Vmp) [V]	45.7
Intensidad a potencia máxima (Imp) [A]	9.00
Voltaje en circuito abierto (Voc) [V]	37.1
Intensidad de cortocircuito (Isc) [A]	8.63
Tolerancia de potencia [W]	0/3%

Características mecánicas

Medida	SCL-320PI
Celulas	72=6x12 policristalinas
Conectores	MC4 Compatible
Caja conexión	TÜV Certificado
Cableado	Longitud 900mm
Dimensión	1956 x 992 x 50 mm
Peso	27 kg
Carga máxima	Carga de viento: 2400 Pa /Carga peso: 5400 Pa

Características de temperatura

Medida	SCL-320PI
NOCT**	47+/- 2°C
Coeficiente de temperatura Pmax	-0.43% / °C
Coeficiente de temperatura Voc	-0.33% / °C
Coeficiente de temperatura Isc	+0.056% / °C
Temperatura de trabajo	-40/+85°C

Embalaje

Tipo	SCL-320PI
Palet	21 uds.
Contenedor 20/40 pies	210/462 uds.

Certificaciones





ANEXO 9: Cálculo de la bomba de agua

CÁLCULO DE LA CARGA DEL BOMBEO DE AGUA																				
HOJA DE CALCULOS 1 BOMBEO DE AGUA CALCULO DE LA CARGA DEL BOMBEO DE AGUA. Los textos y valores en rojo pueden cambiarse. Las casillas de color verde son necesarias para realizar todos los cálculos. El volumen de agua es en litros. Las cargas se dan en metros. Un mensaje de advertencia aparecerá si se ingresan valores incorrectos.										1	Volumen de agua necesaria por día (l/día)	2	Insolación del sitio (h-pico/día)	3	Recorrido Régimen de bombeo (l/h)					
		5520.099539	/		5	=	1104.0													
4	Nivel estático (m)	5	Abatimiento (m)	6	Altura de descarga (m)	7	Carga estática (m)	8	Recomido adicional de tubería (m)	9	Recorrido total de tubería (m)	10	Factor de fricción (decimal)	11	Carga por fricción (m)	12	Carga estática (m)	13	Carga dinámica total (m)	
	0.5	+	2	+	27	=	29.5	+	96	=	125.5	X	0.02	=	2.51	+	29.5	=	32.0	
Ahora es posible seleccionar una bomba de agua de acuerdo a las necesidades y especificaciones del fabricante. Consulte la información técnica proporcionada por el fabricante de bombas de agua y llene las casillas de la derecha antes de continuar en la casilla 11.										INFORMACION DE LA BOMBA Y MOTOR Marca: TRUPER Modelo: BOS-2LM2 Tipo de bomba: SOLAR SUMERGIBLE Tipo de motor: Voltaje de operación (c.a/c.c.): 173 VEC Eficiencia de la bomba: 80%										
14	Volumen de agua necesaria por día (l/día)	15	Carga dinámica (m)	16	Factor conversion	17	Energía Hidraulica (Wh/día)	18	Eficiencia de la bomba (decimal)	19	Energía del arreglo FV (Wh/día)	20	Voltaje nominal del sistema (V)	21	Carga eléctrica (Ah/día)					
	5520.099539	x	32.01	/	367	=	481.5	/	0.57	=	844.7	/	175	=	4.8					
21	Carga eléctrica (Ah/día)	22	Carga eléctrica corregida (Ah/día)	23	Factor de rendimiento del conductor (decimal)	24	Carga eléctrica del sitio (h-pico/día)	25	Insolación del sitio (h-pico/día)	26	Corriente del proyecto (A)									
	4.8	/	0.95	=	5.1	/	5	=	1.0											
DIMENSIONAMIENTO DEL ARREGLO FV Y RÉGIMEN DE BOMBEO																				
HOJA DE CALCULOS 2 BOMBEO DE AGUA DIMENSIONAMIENTO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO Ahora es el momento de seleccionar el modelo de módulo fotovoltaico que se usará en el arreglo. Repita este proceso hasta encontrar el menor número posible de módulos que satisfagan las necesidades del sistema de bombeo.										INFORMACION DEL MODULO FOTOVOLTAICO Marca y modelo: LC80 - 12M tipo: Vmp: 17.2 Voc: 22.4 Imp: 4.6 Isc: 5.0										
27	Corriente del Proyecto (A)	28	Factor de reducción del módulo (decimal)	29	Corriente ajustada del proyecto (A)	30	Corriente Imp del módulo (A)	31	Módulos en paralelo (núm. entero)											
	15.0	/	0.9	=	16.67	/	4.6	=	4.0											
32	Voltaje nominal del sistema (V)	33	Vmp del módulo (V)	34	Módulos en serie	35	Módulos en paralelo	36	Total de Módulos	37	Corriente Imp del módulo (A)	38	Voltaje Vmp del módulo (V)	39	Tamaño del arreglo fotovoltaico (W)					
	175	/	17.2	=	10.17	X	4	=	40.70	X	4.6	X	17.2	=	3220					
HOJA DE CALCULOS 3 BOMBEO DE AGUA AGUA BOMBADA Y REGIMEN DE BOMBEO.										Compare el régimen de bombeo (l/h) de la casilla 51 con la capacidad de la fuente de agua. Si el régimen de bombeo es mayor que la capacidad de batería o bien amplíe la fuente de agua. Esta es una decisión que se basa en el aspecto económico.										
40	Módulos en paralelo	41	Corriente Imp del módulo (A)	42	Voltaje Nominal del sistema (V)	43	Factor de rendimiento del sistema (decimal)	44	Factor de conversión	45	Insolación del sitio (h-pico/día)	46	Factor de reducción del módulo (decimal)	47	Carga dinámica total (m)	48	Agua Bombeada (l/día)			
	4.0	X	4.6	X	175	X	0.57	X	367	X	2	X	0.95	/	32.01	=	99955.05			
46	Factor de Agua Bombeada (l/día)	47	Carga dinámica del sitio (h-pico/día)	48	Régimen de bombeo (l/h)															
	99955.05	/	5	=	19991.01															



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo SHADAM JESUS SERRANO RIVERA,
identificado con DNI 70758070 en mi condición de egresado de:

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

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO ALIMENTADO CON ENERGIA
FOTOVOLTAICA PARA LA COMUNIDAD CAMPESINA MOLINO KAPIA, DISTRITO DE ZEPITA, PUNO, 2023.

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 19 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 SHADAM JESUS SERRANO RIVERA,
identificado con DNI 70758070 en mi condición de egresado de:

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

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO ALIMENTADO CON ENERGIA
FOTOVOLTAICA PARA LA COMUNIDAD CAMPESINA MOLINO KAPIA, DISTRITO DE ZEPITA, PUNO, 2023.

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 19 de julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella