



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“EVALUACIÓN DE ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS BOMBAS
SOLARES DEL TIPO SUMERGIBLE Y SUPERFICIAL, PARA
MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA, EN EL
ANEXO TUTURCUYO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE
PUPUJA - AZÁNGARO”**

PRESENTADO POR:

Roly José Huacasi Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR: M.Sc. Armando Antonio Salinas Del Carpio



JULIACA PERÚ

2024



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



“EVALUACIÓN DE ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS SOLARES DEL TIPO SUMERGIBLE Y SUPERFICIAL, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA, EN EL ANEXO TUTURCUYO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO”

PRESENTADO POR:

Roly José Huacasi Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ENERGIAS RENOVABLES

ASESOR: M.Sc. Armando Antonio Salinas Del Carpio



JULIACA - PERÚ

2024

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



**“EVALUACIÓN DE ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS
SOLARES DEL TIPO SUMERGIBLE Y SUPERFICIAL, PARA
MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA, EN EL ANEXO
TUTURCUYO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA –
AZÁNGARO”**

Bach. Roly José Huacasi Quispe

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

Asesor:

M.Sc. Armando Antonio Salinas Del Carpio

Juliaca – 2024

Huacasi, R. (2024). *Evaluación de aspectos técnicos de las bombas solares del tipo sumergible y superficial, para mejorar la eficiencia del riego agrícola, en el anexo Tuturcuyo del distrito de Santiago de Pupuja – Azángaro*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Roly José Huacasi Quispe

TÍTULO: Evaluación de aspectos técnicos de las bombas solares del tipo sumergible y superficial, para mejorar la eficiencia del riego agrícola, en el anexo Tuturcuyo del distrito de Santiago de Pupuja – Azángaro.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (109 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables — Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000027-02/H82

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: M.Sc. Armando Antonio Salinas Del Carpio

PALABRAS CLAVE:

Bomba sumergible, bomba superficial, riego solar, sistema de bombeo solar.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“EVALUACIÓN DE ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS SOLARES DEL TIPO SUMERGIBLE Y SUPERFICIAL, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA, EN EL ANEXO TUTURCUYO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGIAS RENOVABLES

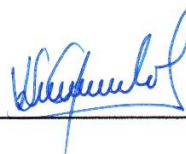
Presentado por:

Bach. Roly José Huacasi Quispe

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Vilma Sarmiento Mamani

PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

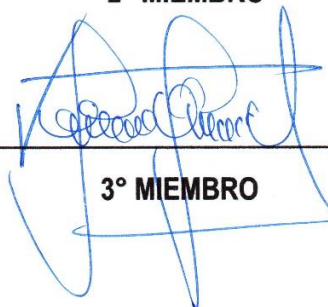
JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

Dr. Uriel Quispe Mamani

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



M.Sc. Armando Antonio Salinas Del Carpio
ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS SOLARES DEL TIPO SUMERGIBLE Y SUPERFICIAL, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA, EN EL ANEXO TUTURCUYO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO.

AUTOR

Roly Jose Huacasi Quispe

RECUENTO DE PALABRAS

23191 Words

RECUENTO DE CARACTERES

125936 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

108 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.7MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 15, 2024 10:08 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 15, 2024 10:10 PM GMT-5

● 4% de similitud general

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

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



ARMANDO ANTONIO SALINAS DEL CARPIO
MECÁNICO ELECTRICISTA
Registro CIP. 112774

DEDICATORIA

A mí por el gran esfuerzo, dedicación y constancia de culminar el presente logro, por un amor propio en el bien profesional y siempre recordando que la fuerza de la voluntad propia puede llevarnos hacia más logros a futuro.

A mi padre Feliberto Huacasi Arapa, como un ejemplo a seguir de siempre trabajar en lo que se quiere, tomando como experiencia su vida universitaria quien por sí mismo logro ser profesional, y siempre decirme que cualquier logro es gracias a uno mismo.

A mi madre Paulina Quispe Quispe, quien es mi motivo a seguir adelante, quien siempre está para apoyarme de muchas maneras incondicionalmente, quien es una gran persona y siempre será mi motivo de lograr muchos metas mas

A mí hermana Elizabeth Y.M.Q. que descansa en paz, que la recuerdo como como una estrella que brilla en el cielo azul, quien siempre fue una gran persona con un gran corazón.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Feliberto Huacasi Arapa & Paulina Quispe Quispe, por su apoyo en mí en esta etapa de trabajo y dedicación durante toda la etapa universitaria con el fin de lograr esta ansiada titulación cual es significativa para un futuro profesional.

A mis hermanos Henry, Mildar y Ronal por siempre apoyar en la familia con el fin de lograr un gran bienestar y ser pilares primordiales para nuestros padres y recordar siempre que estos logros son las puertas hacia más triunfos a futuro.

A mi Asesor Armando Antonio Salinas del Carpio, por guiarme en este proceso importante de la culminación de mi proyecto de investigación, agradecerle por los momentos en que se dio el tiempo en la tutoría hasta la culminación y ennoblecerlo siempre como una gran persona positiva y alegre.

Finalmente, a la Universidad Nacional de Juliaca que me abrió las puertas desde el inicio de mi carrera hasta hoy, haciendo de mí un gran profesional, a la escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiv
Lista de abreviaturas	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Introducción	xviii
CAPÍTULO I	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Formulación del problema	19
1.1.1. Problema general.....	19
1.1.2. Problemas específicos	20
1.2. Objetivos de la investigación	20
1.2.1. Objetivo general	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Justificación de la investigación	20
1.3.1. Justificación técnica	20
1.3.2. Justificación económica	20
1.3.3. Justificación social	21
1.3.4. Justificación ambiental.....	21
CAPÍTULO II	22
REVISIÓN DE LA LITERATURA	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	22
2.2. Marco teórico	24
2.2.1. La energía solar	24

2.2.2. La radiación solar	24
2.2.3. Sistema bombeo solar	25
2.2.4. Definición general de las bombas y clasificación	26
2.2.5. Clasificación de las bombas	26
2.2.6. Eficiencia de riego.....	29
2.2.7. Manómetro de reloj	30
2.2.8. Calidad de agua para riego.....	31
2.2.9. Parámetros de riego en factor cultivo de alfalfa.....	31
2.2.10. Parámetros de riego en cultivos	32
2.3. Factores de irrigación.....	36
CAPÍTULO III	38
MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Hipótesis de la Investigación	38
3.1.1. Hipótesis general.....	38
3.1.2. Hipótesis específicas	38
3.2. Materiales o equipos	38
3.2.1. Módulos solares	38
3.2.2. Bomba solar periférica superficial	39
3.2.3. Bomba solar sumergible.....	40
3.2.4. Aspersores akona fox	41
3.2.5. Tubería de polietileno de 1” diámetro.....	42
3.2.6. Manómetro de reloj	42
3.2.7. Multímetro.....	43
3.2.8. Accesorios	44
3.2.9. Herramientas	44
3.2.10. Utilitarios.....	44
3.3. Metodología	44
3.3.1. Ubicación del proyecto	44
3.3.2. Estación de bombeo	45
3.3.3. Ubicación política	45

3.3.4.	Características del terreno	45
3.3.5.	Reservorio de almacenamiento del recurso hídrico	46
3.4.	Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	47
3.4.1.	Tipo de investigación	47
3.4.2.	Enfoque del estudio.....	47
3.4.3.	Diseño del estudio	47
3.4.4.	Población y muestra	47
3.5.	Recurso solar.....	47
3.5.1.	Estimación de irradiación.....	49
3.6.	Evaluación agronómica.....	49
3.7.	Cálculo del requerimiento de agua en el cultivo.....	49
3.7.1.	Evapo-transpiración (Etp)	49
3.7.2.	Evapotranspiración potencial	51
3.7.3.	Evapotranspiración actual (ETa).....	51
3.7.4.	Precipitación efectiva (PE).....	52
3.7.5.	Requerimiento hídrico (DA)	52
3.7.6.	Demanda del proyecto (Dp)	52
3.7.7.	Módulo de riego	53
3.7.8.	Lamina de riego.....	53
3.7.9.	Lámina de agua almacenada (La)	54
3.7.10.	Lámina neta de riego (Lnr)	54
3.7.11.	Lámina bruta de riego (Lbr).....	54
3.7.12.	Infiltración en el suelo agrícola.....	54
3.7.13.	Elección de aspersores	55
3.7.14.	Número y disposición de emisores	55
3.7.15.	Desarrollo de los criterios de irrigación	55
3.7.16.	Sistema de módulos fotovoltaicos orientación e instalación.....	56
3.7.17.	Instalación de las Bombas Solares	57
3.7.18.	Instalación de sistema de conducción hídrico	58
3.7.19.	Montaje de Aspersores	59

3.7.20. Montaje de Manómetros	61
3.8. Condiciones hídricas	62
3.9. Caracterización técnico-económico	63
3.9.1. Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa	64
3.9.2. Periodo recuperación del Capital (PBP)	66
3.9.3. Evaluación del caudal experimental de la bomba	70
3.10. Operacionalización de variables	72
CAPÍTULO IV.....	73
RESULTADOS Y DISCUSIONES	73
4.1. Generalidades.....	73
4.2. Recurso solar en la zona.....	73
4.3. Condiciones hídricas	74
4.4. Resultados de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba superficial	75
4.4.1. Resumen en graficos de datos obtenidos para la bomba superficial	76
4.5. Resultados para la bomba solar del tipo sumergible.....	78
4.5.1. Resumen en graficos de datos obtenidos para la bomba sumergible.	79
4.5.2. Gráfico de la potencia con la presión de salida de la bomba sumergible y superficial.....	80
4.5.3. Resumen desempeño de caudal y presión de la bomba superficial	81
4.5.4. Resumen desempeño de caudal y presión de la bomba sumergible.....	82
4.6. Resultados de la evaluación económica.....	83
4.7. Discusión.....	84
CAPÍTULO V	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. Conclusiones	86
5.2. Recomendaciones.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	94

Índice de tablas

Tabla 1. Recomendación de panel solar con batería.....	27
Tabla 2. Descripciones esenciales de las bombas solares	29
Tabla 3. Características del modulo sunshine solar de 265Wp	38
Tabla 4. Especificaciones de la bomba solar periférica.....	40
Tabla 5. Especificaciones de la bomba solar sumergible.	41
Tabla 6. Condiciones meteorológicas MET Pucara.	49
Tabla 7. Índice de latitud mensual.....	50
Tabla 8. Velocidad de infiltración básica en función a su textura.....	54
Tabla 9. Costo de inversión del proyecto.	63
Tabla 10. Escenario alternativo a costo de inversión a motobomba diésel.	64
Tabla 11. Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa con bomba solar.	68
Tabla 12. Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa con bomba diésel.....	68
Tabla 13. La bomba solar frente a motobombas diésel	67
Tabla 14. Operacionalización de la variable independiente	72
Tabla 15. Operacionalización de la variable dependiente	72
Tabla 16. Irradiación normal directa obtenido de Nasa Power	74
Tabla 17. Resumen de monitoreo de parámetros de la bomba superficial.	75
Tabla 18. Resumen de datos del monitoreo de parámetros de la bomba sumergible.....	78
Tabla 19. Resumen desempeño en funcionamiento de la bomba superficial	81
Tabla 20. Resumen desempeño en funcionamiento de la bomba sumergible	82
Tabla 21. Valor promedio de presión y caudal de desempeño de las bombas	83
Tabla 22. Periodo recuperación del Capital (Payback).	83

Índice de figuras

Figura 1. Energía solar que llega a nuestro planeta.....	25
Figura 2. Sistema bombeo fotovoltaico e irrigación	25
Figura 3. Clasificación de las bombas.....	26
Figura 4. Bomba periférica superficial.....	27
Figura 5. Instalación típica bomba sumergible.....	28
Figura 6. Manómetro de reloj con glicerina	30
Figura 7. Presión estática y dinámica.....	31
Figura 8. Evaluación del caudal para una bomba.....	37
Figura 9. Módulo fotovoltaico 265Wp.....	39
Figura 10. Bomba superficial de ½ HP,	39
Figura 11. Bomba sumergible ½ HP Difful	40
Figura 12. Aspersores de golpe de la marca Akona	41
Figura 13. Tubería de 100m polietileno	42
Figura 14. Manómetro	43
Figura 15. Multímetro	43
Figura 16. Ubicación del terreno visto por Google Earth Pro.....	45
Figura 17. Cultivo agrícola de alfalfa a irrigar	46
Figura 18. Almacenamiento de agua en temporadas de lluvia.....	46
Figura 19. Data de recurso solar para la zona de Tuturcuyo.....	48
Figura 20. Irradiación directa en Wh/m ² /mes.....	48
Figura 21. Montaje del sistema fotovoltaico.	57
Figura 22. Instalación de las bombas solares.	58

Figura 23. Instalación de la conducción hídrica.....	59
Figura 24. Montaje de los aspersores.	60
Figura 25. Montaje del 1er Manómetro.....	61
Figura 26. Montaje del 2do Manómetro.....	61
Figura 27. Grafico nivel de indicador de Ph	62
Figura 28. Evaluación experimental del caudal de las bombas solares.....	70
Figura 29. Curva de rendimiento de la bomba superficial	70
Figura 30. Curva de rendimiento de la bomba sumergible	71
Figura 31. Resultado de coloración pH del análisis del recurso hídrico.	75
Figura 32. Resumen de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba superficial.....	77
Figura 33. Resumen de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba Sumergible.	79
Figura 34. Gráfico de la potencia con efecto en la presión de salida de las bombas solares ...	80
Figura 35. Resumen rendimiento de caudal y presión de la bomba superficial	81
Figura 36. Resumen rendimiento de caudal y presión de la bomba sumergible	82

Índice de Anexos

Anexo 1. Instalación de las bombas solares, módulos fotovoltaicos, manómetros y aspersores.....	95
Anexo 2. Monitoreo de parámetros técnicos de las bombas solares y medición de presión con los manómetros.	96
Anexo 3. Aplicación de riego por aspersión con el proyecto concluido en el anexo de Tuturcuyo.....	97
Anexo 4. Factor de evapotranspiración potencial (mf) en mm por mes	98
Anexo 5. Eficiencia de aplicación para diferentes sistemas de riego.....	98
Anexo 6. Características hídricas promedios de los grupos de suelos	98
Anexo 7. Lista de precios para egresos de alfalfa agrícola en la zona	98
Anexo 8. Ficha de curva rendimiento de la bomba solar QB60-DC.....	99
Anexo 9. Ficha técnica aspersor Akona Fox.....	100
Anexo 10. Diagrama de instalación y área de irrigación	101
Anexo 11. Bomba sumergible solar CC.....	102
Anexo 12. Ambiente de trabajo y propiedad técnica de la bomba sumergible.	103
Anexo 13. Irradiancia solar mensual de mes de enero, data PVgis a 3925 msnm.	104
Anexo 14. Irradiancia solar mensual de mes de febrero data PVgis, elevación de 3925 msnm.	105
Anexo 15. Irradiancia solar mensual de mes de marzo, data PVgis a elevación de 3925 msnm.	106
Anexo 16. Recomendación para instalaciones de panel solar para bombas de 12 V-110 V CC.	107
Anexo 17. Potencial de energía fotovoltaica en el Perú.....	108

Lista de abreviaturas

Eto	: Evapotranspiración en el cultivo
Kc	: Índice cultivo
PA	: Proporción de agua utilizable
Zr	: Profundidad de las raíces
CC	: Capacidad Campo
PMP	: Punto de Marchitamiento Permanentemente
Pea	: Densidad evidente
Ib	: Infiltración primario
Hmax.	: Horas máxima de irrigación
ETa	: Evapotranspiración actual
Par	: Proporción o porcentaje de superficie bajo riego
Phr	: Tasa de aplicación de agua por hora para riego
IR	: Transcurso de irrigación
CR	: Periodo en riego
LB	: Lamina Bruta
DB	: Dosis Bruta
Ht	: Duración de riego en turno
Td	: Turno de riego diario
Hd	: Tiempo al riego diariamente
Hc	: Tiempo dedicado al riego por ciclo
PWM	: Ancho de pulso modulado
MPPT	: Seguidor de Punto de Máxima Potencia
Qr	: Caudal necesitado
Qe	: Caudal específico

RESUMEN

La generación de energía eléctrica por módulos fotovoltaicos es ampliamente utilizada, pero en agricultura mínimamente aprovechada, en tal sentido se busca impulsar el uso de bombas solares, en reemplazo a sistemas tradicionales de bombas de combustión interna que causan gran daño ambiental, en tal forma es que existe dos tipos de tecnologías más resaltantes en bombas solares, en ese marco emerge esta investigación a fin de evaluar el desempeño en los aspectos técnicos de la bomba solar del tipo sumergible y superficial para mejorar el riego agrícola. Para tal efecto se empleó bombas de ½ HP, las más comerciales en el mercado. En metodología se evaluó el desempeño real de cada bomba en el lugar de estudio, mediante la variación de potencia, por los módulos fotovoltaicos a diferentes horas tomando datos de presión y caudal como aspectos determinantes para definir cuál de las tecnologías presenta un mejor desempeño para el riego de alfalfa, y con factores influyentes del recurso solar en la zona y condiciones hídricas, se empleó data de la Nasa, de 4 últimos años denotando julio al mes con mayor irradiación 269.18 kWh/m²/mes, por contrario diciembre 118.73 kWh/m²/mes. Conclusión, la bomba solar sumergible presento mayor eficiencia con un valor promedio de caudal de 35.66 L/min. y un valor promedio de presión de 15.4Psi, por contrario la bomba superficial un caudal de 22.27 L/min. y presión de 10.95Psi, expresando una diferencia notable y en evaluación económica se obtuvo un VAN S/1,505.50>0 y una TIR del 55%>15%, además la radiación incidente tiene una influencia significativa en la potencia de los paneles fotovoltaicos, a mayor radiación las bombas generan mayor presión de trabajo, mayor caudal y en la zona es con gran potencial solar debido a su altitud 3925 m.s.n.m. lo que resulta beneficioso en la implementación de más proyectos.

Palabras Clave: Bomba sumergible, bomba superficial, riego solar, sistema de bombeo solar.

ABSTRACT

The generation of electrical energy by photovoltaic modules is widely used, but in minimally exploited agriculture, in this sense it seeks to promote the use of solar pumps, replacing traditional systems of internal combustion pumps that cause great environmental damage, in such a way is that there are two types of most outstanding technologies in solar pumps, in which this research emerges in order to evaluate the performance through the technical aspects of the submersible and surface type solar pump to improve agricultural irrigation. For this purpose, ½HP pumps were used, the most commercial on the current market. In methodology, the real performance of each pump in the study site was evaluated, through the variation of power given by the photovoltaic modules at different times, taking pressure and flow data as determining aspects to define which of the technologies presents the best performance for the irrigation of alfalfa, and with influencing factors of the solar resource in the area and water conditions, the results used data from NASA, from the last 4 years, denoting July as the month with the highest irradiation with 269.18 kWh/m²/month, on the contrary December 118.73 kWh/m²/month. Conclusion, the submersible solar pump presented greater efficiency with an average flow value of 35.66 L/min. and an average pressure value of 15.4Psi, on the contrary, the surface pump had a flow rate of 22.27 L/min. and pressure of 10.95Psi, expressing a notable difference and in economic evaluation an VAN S/1,505.50 > 0 and an TIR of 55% > 15% were obtained, in addition the incident radiation has a significant influence on the power of the photovoltaic panels, the greater the radiation the pumps generate greater pressure of work, greater flow and the area has great solar potential due to its altitude at 3925 m.s.n.m. which is beneficial for the implementation of more projects.

Keywords: Agricultural irrigation, submersible pump, surface pump, solar pumping system.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las bombas solares son una alternativa viable en sustitución a electrobombas y bombas diésel comúnmente empleadas a su vez que generan contaminantes al medio ambiente, en tanto el uso de bombas solares contribuye al desarrollo social, económico y ambiental.

La evaluación comparativa de las bombas solares se realizó con el fin de determinar el desempeño de cada bomba para orientar hacia un riego más eficiente e impulsar su uso para un mejor aporte de producción agrícola en los pobladores, de esta forma dejar de lado los riegos tradicionales que como sabemos genera pérdidas hídricas en gran medida, así mismo se busca dejar de lado el uso de bombas de combustión interna que hacen uso de derivados del petróleo para su funcionamiento ocasionando grandes daños al medio ambiente al no haber la red eléctrica en zonas rurales, así mismo su empleabilidad conlleva grandes gastos económicos el consumo de energía eléctrica para bombas eléctricas, frente a estas adversidades se buscan soluciones rentables y sustentables donde damos paso al aprovechamiento de energías renovables más enfocados al campo de riego solar, donde en países con mayor desarrollo se emplean en gran medida es así que se busca impulsar el uso de equipos de bombeo solar directo para aplicaciones como el riego de alfalfa y otros cultivos de nuestra región Puno.

En el capítulo I, se abordan elementos fundamentales de la investigación, incluyendo la exposición del problema, la justificación, la hipótesis planteada y los objetivos de estudio.

En el capítulo II, se presentan los fundamentos teóricos que respaldan la investigación, incluyendo antecedentes y bases teóricas necesarios para comprender el tema.

En el capítulo III, se detalla el alcance del estudio, el tipo de investigación realizado, la población objeto de estudio, la metodología empleada e instrumentos de investigación utilizados, destacando la importancia de un diseño adecuado para cada objetivo establecido.

El capítulo IV, se dedica al análisis e interpretación de los resultados obtenidos durante la investigación, con el fin de verificar la validez de la hipótesis planteada y evaluar cómo estos resultados se relacionan con los objetivos planteados.

Al final el capítulo V, se exponen las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos en la investigación, y se formulan recomendaciones basadas en dichas conclusiones, brindando así un cierre al estudio realizado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Abarcando a los principales problemas en los sectores rurales es el uso de bombas diésel para el desplazamiento de agua para diferentes necesidades para el poblador rural, su empleabilidad se basa en el uso de combustibles para su funcionamiento con el fin de cubrir demandas hídricas para usos domésticos o irrigación de cultivos de alfalfa como alimento indispensable para sus vacunos, pero al emplear dichas bombas causan contaminación al medio ambiente y parte de la problemática en el costo elevado de adquisición del combustible, por ende no llegan aplicar riegos constantes a largo plazo al no aplicar una irrigación de acuerdo a las necesidades del cultivo de alfalfa no se genera una gran producción para el alimento de sus ganados, el déficit del alimento vacuno no podría producir gran cantidad de materia prima de leche para poder producir diversos derivados de este producto, por ende el poblador no puede crecer económicamente al emplear bombas diésel. Incidentemente lo detallado concierne a una tecnología ambigua de trasladar el recurso hídrico, para las necesidades del ganadero/agricultor en el sector rural y dar la confiabilidad necesaria a los pobladores y optar por la implementación de sistemas bombas solares directos ya sean del tipo superficial o sumergible así mejorar las brechas tecnológicas empleadas comúnmente.

Por otra parte, en la región de Puno, no se está aprovechando adecuadamente el significativo potencial solar, que tiene una irradiación una estimación por año de 6 kWh/m²/día. No han realizado investigaciones sobre la comparación de sistemas de bombas solares directos, considerando lo mencionado, así como las características geográficas también climáticas específicas, por tal se propuso realizar la evaluación aspectos técnicos de las bombas solares del tipo sumergible y superficial para mejorar la eficiencia de producción agrícola (Auccacusi, 2018).

1.1.1. Problema general

¿Cuál será la mejor alternativa en base a la evaluación técnica comparativa de las bombas solares para el riego agrícola por aspersión para el sector rural de Azángaro?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la estimación de las condiciones solares de la zona?
- ¿Cuáles son las condiciones hídricas adecuadas para realizar el bombeo adecuado?
- ¿Se podrá caracterizar económicamente las bombas solares frente a una tecnología alternativa para el riego agrícola?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Evaluar los aspectos técnicos de las bombas solares del tipo sumergible y superficial para mejorar la eficiencia del riego agrícola en el sector rural de Azángaro.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el recurso solar mediante la Nasa en la zona del proyecto.
- Examinar las condiciones básicas del recurso hídrico, para el uso de las bombas.
- Caracterizar técnica-económicamente las bombas solares frente a una tecnología alternativa para el riego agrícola.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo es factible en el ámbito agrícola así mismo es aprovechable para el suministro de hídrico para otras necesidades básicas y el abastecimiento agua para uso doméstico. Así, la tecnología puede ayudar al progreso de zonas rurales con recursos limitados, mejorando la capacidad de producción y expandir las zonas agrícolas, lo que a su vez influye en el bienestar de los residentes de las zonas donde se puedan ejecutar iniciativas o proyectos empleando bombas solares (Herrera, 2016).

1.3.2. Justificación económica

El proyecto de investigación repercutirá e impulsará a la implementación de la energía proveniente del sol para el empleo en bombeo hídrico, constataría la opción más viable en la

producción de alfalfa, esta tecnología puede mitigar necesidades de escasez hídrico por la ausencia de lluvias, permitiendo incrementar la disposición productiva de dos cosechas anuales a cinco, lo que eleva significativamente la producción. La empleabilidad de bombas solares resulta más rentable financieramente en comparación de tecnologías habituales, como la producción GLP o diésel, en cambio la energía que impulsará a las bombas solares mediante las placas solares que es interminable durante el ciclo de vida del equipo. La adopción de estas tecnologías puede variar según sus necesidades específicas, subrayando así el mayor impacto de ponderación repercutirá económicamente por lo cual es necesaria esta investigación, así mismo es gratuita y aprovechable durante todo el año (Vegas, 2019).

1.3.3. Justificación social

El traslado del recurso hídrico es indispensable en los sectores rurales, donde no se tiene alcance a la red eléctrica para emplear electrobombas, donde alternativamente se hacen uso de bombas de combustión, socialmente no es rentable, es donde ingresa las fuentes energéticas renovables siendo amigables con el medio ambiente y sustentables económicamente generando un mejor desarrollo social. A sí mismo es de vital importancia para las zonas rurales, ya que mediante cultivo agrícola es un fuerte sustento para el poblador, el cultivo de alfalfa abastece de alimento a los ganados para su crecimiento conllevando a un mejor desarrollo social.

1.3.4. Justificación ambiental

De acuerdo con el decreto legislativo N°1002 de 2008 generado por el Ministerio de Energía y Minas, se fomenta la inversión en la producción de electricidad utilizando Recursos Energéticos Renovables. Por ello, esta investigación fue esencial, ya que el agua se bombea actualmente en ciertos lugares utilizando un motor alimentado con diésel, el cual emana vapores tóxicos al quemarse. Además, la mala empleabilidad en el aprovisionamiento del comburente provoca derrames, contaminando el suelo. Para abordar esta problemática, se propone implementar y fomentar el uso de energía solar fotovoltaica para el bombeo hídrico. Por esa razón se impulsa a promover la aplicación del uso de las energías renovables, recurso energético inagotable en contribución con el medio ambiente y contribuyendo sustancialmente al desarrollo sostenible en el Perú (Albujar, 2019).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el entorno internacional Miranda (2023), realizó la investigación titulada “Diseño de un sistema de irrigación basado en energía solar fotovoltaica para el bombeo de agua” asignado a suministrar una agricultura de papa en la localidad Pajchani perteneciente a la Paz - Bolivia. Este sistema tiene como finalidad incrementar la explotación agrícola, fortalecer económicamente a los hogares de dicha comunidad y eliminar las dependencias de lluvias. En 2022, la sequía en el altiplano paceño causó impactos significativos en la agricultura, en tal forma se observó en esta localidad esta situación se debió a la dependencia de estos cultivos del riego mediante las lluvias, lo que resultó en pérdidas económicas para la población afectada. Sobre el diseño del sistema de irrigación, se fue llevado en varias etapas donde inicialmente el autor obtuvo los parámetros de los componentes del sistema mediante mediciones manuales utilizando los instrumentos adecuados. Luego, se empleó software especializado para generar datos de radiación solar específicos para la ubicación del proyecto. Con dichos datos específicos, se procedió establecer elementos al proyecto, que abarca estudios calculados descritos a través de los componentes hidroeléctricos. Además, se aplicó aspectos para seleccionar los equipamientos con accesorios a fin de que integren al sistema. En conclusión, refiere que la realización de este proyecto de un sistema de irrigación solar representa el inicio hacia la adopción de este tipo de proyectos por parte de las familias agrícolas en la zona y áreas circundantes. Este sistema no solo promoverá mejoras en la producción agrícola, sino también en la situación económica de las familias, permitiéndoles reducir su dependencia de la temporada de lluvias.

2.1.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional Asmat (2018), llevó a cabo una investigación titulada “Estudio de la efectividad de un sistema de bombeo solar en el distrito de Yaurisque - Cusco”, cuyo propósito esencial fue examinar la efectividad de la aplicación de bombeo solar y definir la capacidad diaria de agua

que este sistema puede bombear, considerando las condiciones climáticas del distrito. Los ensayos se realizaron del 30 de agosto al 6 de septiembre, y se encontró que el sistema bombeaba un promedio diario de 4.2m^3 de agua. La productividad en la bomba solar fue del 26.1%, mientras que la eficiencia del módulo solar fue del 95.54%, resultando en una efectividad global del sistema con 24.95%. Para la evaluación estadística, ha considerado como factores independientes variables como son la emisión solar, sensación térmica así mismo como influencias dependientes tales como la emanación de hídrica suministrada por la bomba hidráulica y la energía por los paneles solares. Estas variables dependientes mostraron una alta correlación con la irradiación. Finalmente, se concluyó ya que esta irrigación fotovoltaica no está en operatividad en punto máxima efectividad ya que la bomba solar funciona a un rendimiento bajo inferior al ideal. Bajo estas condiciones, se determinó que la superficie máxima que se puede regar es de 0.34 hectáreas, adecuada para plantaciones de maíz, grano de espiga y legumbres estos son apropiados para las características climatológicas y altitud del lugar.

Davalos (2019) en su investigación titulada "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico en el riego en el caserío Guayaba", inicio con la realización de un diseño de plan de sistema en bombeo abastecido por fuente de energía solar con el fin de la aplicación en agricultura, de su localidad. En la actualidad para el bombeo hídrico se emplea un motor a base de combustión con gasolina, ello conlleva a elevados precios en su operatividad y revisiones constantes en mantenimiento, no obstante, también conlleva a un daño ambiental. De esta forma nace la iniciativa de emplear energía solar PV al bombear para la irrigación agrícola. Esta investigación da a conocer la interpretación y desarrolló de esta nueva tecnología solar accesible, teniendo en cuenta la obtención de data de la incidencia solar en el lugar por medio de la plataforma en línea NASA. Mediante los datos adquiridos señalan un nivel de radiación $3.72\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ a su vez con una posición desnivel ideal en 7.6° . Conclusión se menciona que para cubrir la demanda hídrica de $41\text{ m}^3/\text{día}$, se necesitan $3,128.5\text{Wh}/\text{día}$ de energía para dicho abastecimiento se escogieron 17 módulos solares para dicho sistema, en tanto en la estimación económica contempló de \$15,976.00 un gasto completo.

Ocampo (2020) en su trabajo de titulación realizo la viabilidad técnica y económica sobre un sistema bombeo de agua empleando energía solar en una comunidad de Chaparri, perteneciente a provincia de Chiclayo – Lambayeque, en la metodología obtuvo reseñas de irradiación solar

que oscilaron entre 4,47 kWh/m² en junio y 5,98 kWh/m² en noviembre, según la web de la NASA. por lo tanto, para las tres has de cultivo de limón. El sistema de bombeo solar compone de treinta y dos paneles AMERISOLAR de 330 Wp. El regulador solar MPPT, 4 controladores 192V/60A, 64 acumuladores de 12 Victron Energy de 66 Ah y una bomba de tipo sumergible LORENTZ PSK2-9 C- SJ17-11. Conclusión referente a la evaluación económica en base a una tasa de 15% se percibió una VAN de S/167,362.72 > 0 y con una TIR de 22% > 15% definiendo así que esta propuesta es factible, en tanto a la reposición de capital toma será en 7 años.

2.2. Marco teórico

2.2.1. La energía solar

Fuente de energía indispensable con un vasto potencial energético en distintas regiones del Perú con bastante uniformidad. Entonces en condiciones globales en media por año 4 a 5 kWh/m²/día lo que es en la zona costa como también en la selva y de 5 a 6kWh/m² día, de manera creciente en Norte a Sur, respecto a ello conlleva que tenemos gran potencial de radiación solar incidente en m², como una iniciativa adecuada para aprovechar esta energía mediante fuentes renovables para pequeñas necesidades de familias sobre todo del sector rural (Perú económico, 2006).

2.2.2. La radiación solar

La radiación solar alcanza los 63,450,720 W/m², siendo la constante solar trasmite una energía en promedio abordando a la cobertura más externa de la atmósfera terrestre, con una estimación de 1,353 W/m². Sin embargo, esta cantidad no es la influencia específica en la superficie terrestre, debido a diversas circunstancias que impiden la percepción del 100(%) de la radiación solar (Arhuire & Hanco, 2020).

La hora sol pico se obtiene dividiendo los datos de irradiación solar de un día específico entre 1000. Se puede deducir fácilmente que, si los valores de radiación solar disponibles se expresan en kWh/m², y las HSP nos facilita a conocer la energía disponible. Además solamente una tercia parte de la energía solar total impacta en la atmósfera de nuestro planeta sobre ello el setenta por ciento incide en el ambiente terrestre siendo la valoración de 1,353 W/m² (Arhuire & Hanco, 2020).

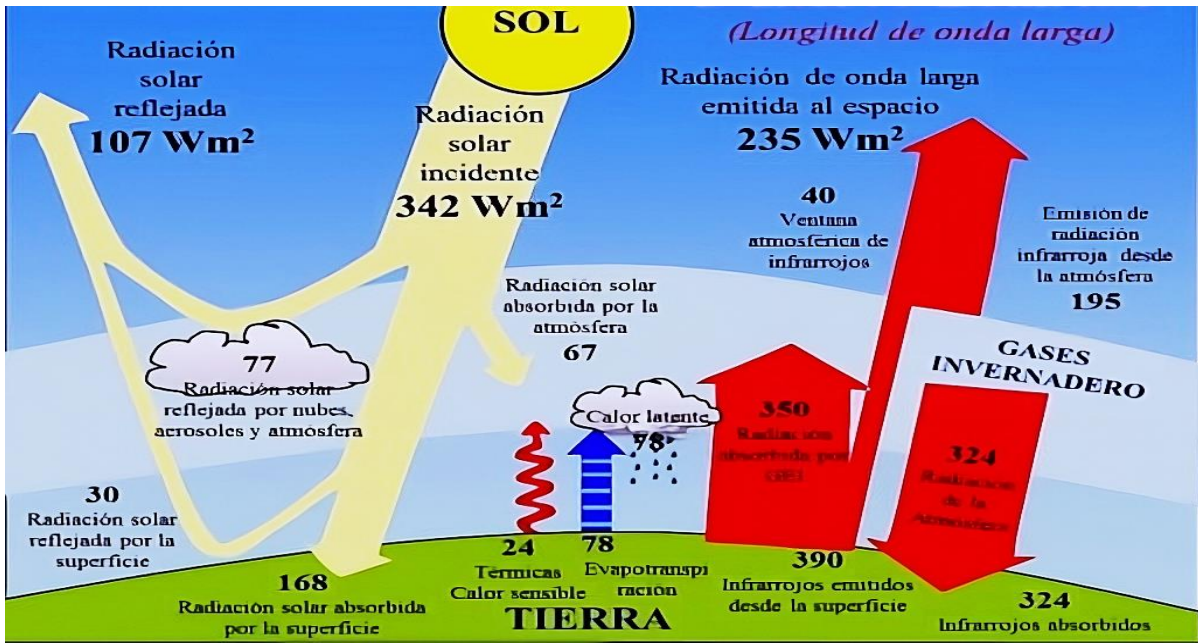


Figura 1. Energía solar que llega a nuestro planeta (Méndez, 2019).

2.2.3. Sistema bombeo solar

El establecimiento del sistema de bombeo con energía fotovoltaica abarca primordialmente el empleo de placas fotovoltaica, además un propulsor-bomba, el recurso hídrico pueda ser un pozo, en repercusión a ello se debe contar con un sistema de tuberías y un tanque de almacenamiento para el agua, como se muestra en la figura 2. Se brinda la disponibilidad de un sistema complementario de energía (inversores CC-CA, controladores CC-CC entre demás equipos esenciales) en adición a los módulos solares con el motor-bomba, a fin de su utilización en motores de corriente alterna (CA) (Chenlo, 2019).

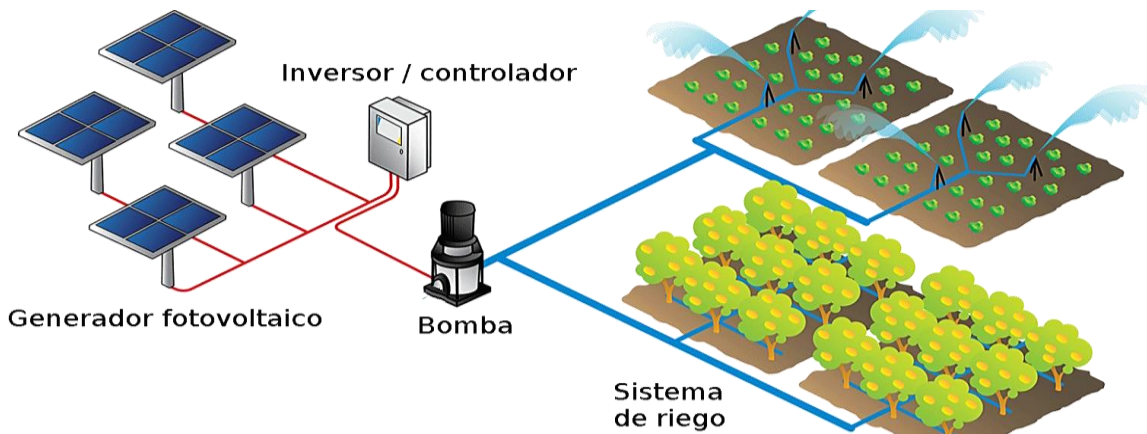


Figura 2. Sistema bombeo fotovoltaico e irrigación (Chenlo, 2019).

2.2.4. Definición general de las bombas y clasificación

Definida como maquina generadora, inducida que transforma la energía mecánica y la convierte en energía hidráulica en el fluido empleado en movimiento, moviendo el fluido operado desde un trazo determinado hasta otro. Su aplicación ejerce en diversos sectores de la industria partiendo principalmente para el bombeo de fluidos como agua, combustibles, aceites lubricantes, entre otros líquidos alimenticios mención a ello son leche y cerveza empleados en las industrias (Jones, 2016).

2.2.5. Clasificación de las bombas

Su clasificación depende de numerosos aspectos, partiendo de su utilización, su material elaboración, de momento al punto de su forma estructural. Partiendo de lo general se incluyen los criterios básicos, fundamentándose en la idea de agregar dinamismo al líquido de trabajo.

Desde esta perspectiva estas bombas hidráulicas se catalogan en 2 enormes segmentos en bombas que tienen un desplazamiento positivo y bombas en roto dinámica (Arija, 2018).

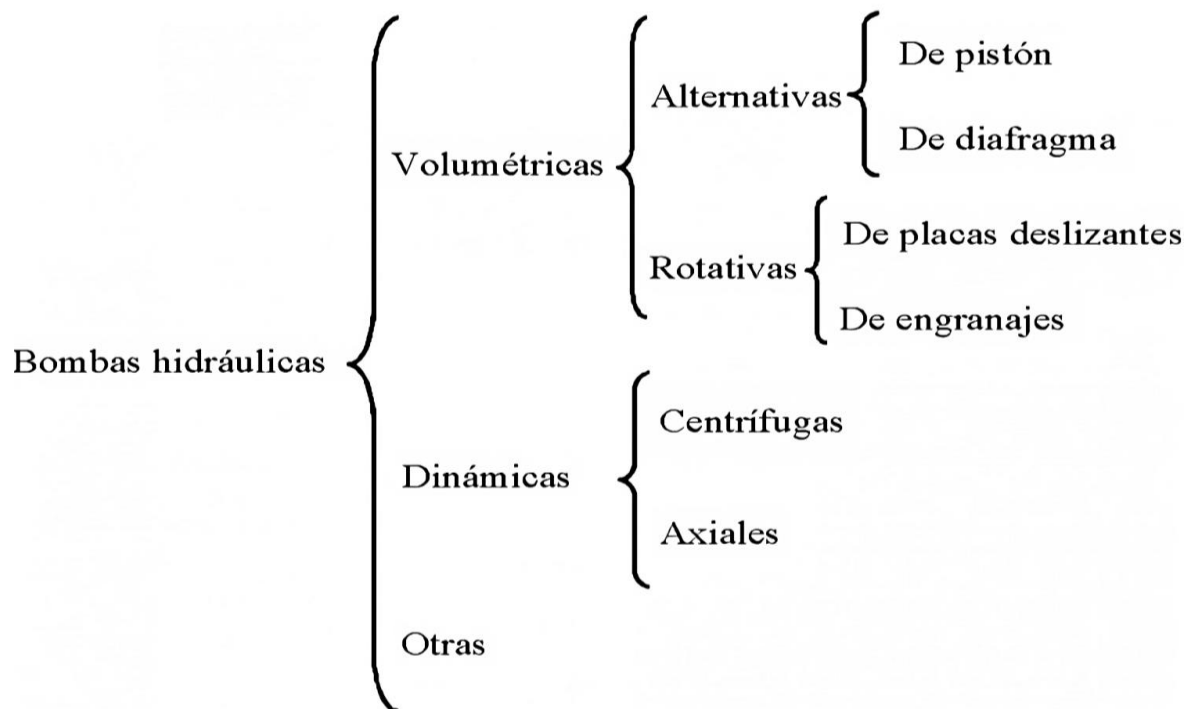


Figura 3. Clasificación de las bombas (Chenlo, 2019, pág. 36).

a. Bombas superficiales

Poseen un reactor de tal forma generan el impulso centrífugo en gran aceleración conllevando al líquido de trabajo agua a su impulsor después donde la expulsión del fluido se realiza de manera radial; estas bombas se distinguen de tipo sumergibles ya que poseen la tecnología de impulsar agua, dependiendo de la potencia que se emplea definida en HP (Chenlo, 2019).

Estas bombas de agua superficial (figura 4) se instalan a nivel de la superficie o suelo su ventaja es que es fácil de inspeccionar y brindar servicio oportuno. Su limitante es que no laboran adecuadamente al requerimiento si la profundidad en succión sobrepasa los 8 m (Feyzi, 2018).



Figura 4. Bomba periférica superficial (Chenlo, 2019, pág. 37).

b. Conexión con panel solar

La selección del panel solar, la potencia de salida del panel solar el panel debe 1.3~1.5 veces la potencia de entrada del motor, El voltaje seleccionado debe estar dentro de la limitación de los valores relevantes, voltaje del controlador, y el voltaje del circuito abierto debe ser menor que 60V (Taifu, 2023).

Tabla 1

Recomendación de panel solar con batería.

Potencia de la Bomba (W)	Panel Solar (W)	Panel Solar Cantidad	Voltaje Pico $V_{mp}(V)$	Voltaje C Abierto $V_{oc}(V)$	Panel Conexión
220/250	260	130 x 2	17.4	21-22	2 piezas en conexión paralelo
350/370	440	110 x 4	16.9	21-22	Cada 2 piezas en conexión en serie, 2 grupos en paralelo

Nota. Extraído de (Taifu, 2023).

c. La selección recomendada de panel solar

El parámetro nominal para QB60-DC, DC = 24V, potencia de entrada $P_1=32W$, la limitación para el voltaje del controlador DC= 21V ~ 744V, el bloqueo protección, el voltaje instantáneo adecuado es 60V. La potencia de salida del panel solar $P_2 = (1,3 \sim 1,5) \times P_1 = (1.3 \sim 1.5) \times 300 = 390W \sim 450W$, por lo que debemos elegir paneles solares de 4 piezas con 110W/12V ya que el voltaje nominal de QB60-DC es DC=24V, cada 2 piezas de paneles solares conectados en serie, luego 2 grupos conectados en paralelo (Taifu, 2023).

Entonces, 4 piezas de panel solar con 110W/12V conectadas en 2 series primero luego conectarse en paralelo son adecuados para las condiciones de trabajo de tensión instantánea de 60V DCQB60, (Taifu, 2023).

d. Bombas sumergibles

Existe gran cantidad las más empleados son las que poseen el impulsor adicionado al motor así para su aplicación dentro del agua sumergiéndose completamente figura 5. Para evitar filtración de residuos contaminantes hacia el recurso hídrico la mayoría de estas bombas sumergibles bien cubiertas herméticamente. Como recomendación estas bombas mencionadas por ningún motivo deben llevarse su operación en seco debido a que sufren un sobrecalentamiento y tienden a quemarse (Chenlo, 2019).

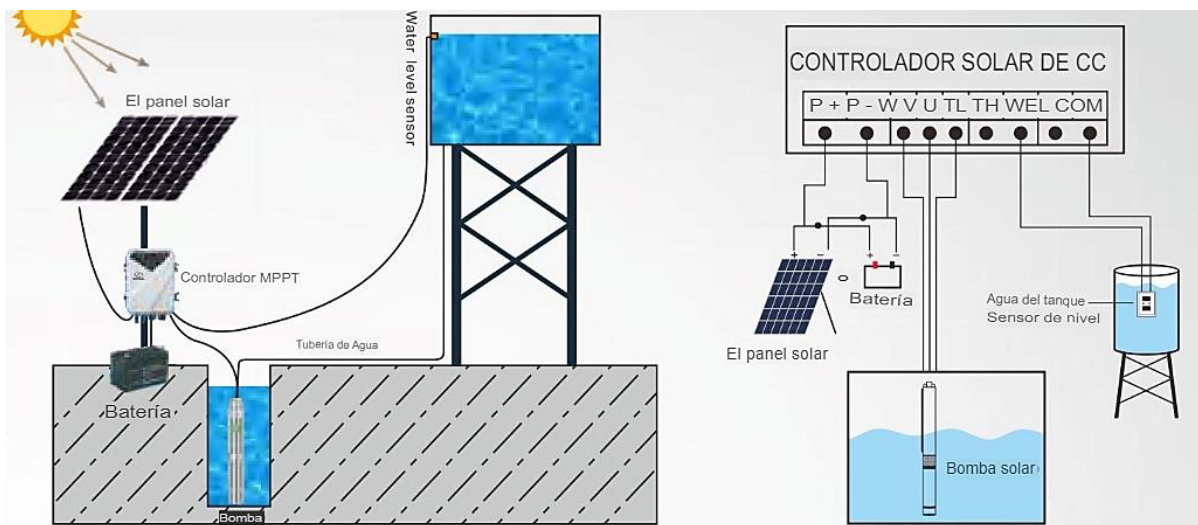


Figura 5. Instalación típica bomba sumergible (Chenlo, 2019, pág. 36).

Tabla 2*Descripciones esenciales de las bombas solares.*

Bombas	Ventajas	Inconvenientes
Centrífugas sumergibles	<p>Mayormente accesibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Logra utilizar el agua como lubricante/refrigerante. Mantienen afluentes elevados. Se desempeñan con aplicaciones cambiantes en su entorno Poseen diseños modulares así posibilita su extracción de mayor recurso hídrico en caudal mediante la incorporación de los paneles solares</p>	<p>En relación del CDT, poseen un alcance de desempeño limitado. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se establecen en áreas que pueden ser oxidantes. Tienen un rango de eficiencia estrecho.</p>
Centrífugas de succión superficial	<p>Son capaces a soportar una poca amplitud de infiltración de tierra. Por ser superficiales, son de más facilidad en el mantenimiento. Mantienen afluentes elevados. Considerando que no pueden propulsar niveles de altura estáticas elevadas, más bien controlan fuerzas fluctuantes grandes.</p>	<p>Sufren desgaste acelerado en cuanto se configuran con fuentes corrosivas. Son posibles a congelarse en climas fríos. Así mismo los clips del cabezal deben reemplazarse con frecuencia.</p>

Nota. Extraído (Chenlo, 2019, pág. 37).**2.2.6. Eficiencia de riego**

Se vincula con el diseño y la gestión del sistema, que deben asegurar la disponibilidad adecuado del fluido para el riego del cultivo, una eficiencia elevada se logra mediante una aplicación uniforme del agua o la minimización de las pérdidas. Hay diversos factores de sí que pueden influenciar la eficiencia en el drenaje por regado (Antunez & Felmer, 2020).

Las fluctuaciones en los caudales a lo largo de la línea de riego pueden reducirse mediante un diseño adecuado, variaciones en la humedad del suelo entre los aspersores debido al viento pueden ser mitigadas mediante sistemas de movimiento periódico y estático que acerquen a sí que los tamizadores de agua con el equipamiento a los afluentes abarca la tecnología productiva, en la tensión de su operación de todo el equipo de funcionamiento del giro de los difusores y la disipación del recurso hídrico sobre la cobertura del terreno antes al llegar a las plantas puede ser minimizada mediante el uso de láminas de riego más extensas (Antunez & Felmer, 2020).

2.2.7. Manómetro de reloj

Un manómetro de agua es un dispositivo de medición que señala la presión del agua dentro de un sistema. Este indicador de presión calibrado se conecta a una tubería o recipiente de agua y transforma la fuerza aplicada sobre él en unidades como Pascal, bar, psi y Torr (Reyes, 2023).



Figura 6. Manómetro de reloj con glicerina (Chenlo, 2019)

Las aplicaciones habituales de los manómetros de agua incluyen:

- Manómetro para el filtro de la piscina: Ayuda a monitorear las variaciones de presión dentro del sistema de la piscina. Una lectura alta de presión sugiere la necesidad de limpiar el filtro, mientras que una baja puede indicar problemas de flujo (Reyes, 2023).
- Sistema de riego y aspersión: Utilizado para indicar la presión en redes de riego agrícola o sistemas de aspersión en jardines (Reyes, 2023).
- Detección de fugas: Instalados en circuitos cerrados de agua como sistemas de calefacción o líneas de proceso para identificar fugas en el circuito (Reyes, 2023).
- Medición del volumen del tanque mediante presión: Ayuda a controlar el volumen de agua en depósitos verticales abiertos o columnas de agua. Los cambios en la presión indican la descarga o recarga de agua desde o hacia el tanque (Reyes, 2023).

La presión del agua en un sistema es dinámico y estático, las presiones estáticas se refieren en presiones de agua cuando no hay movimiento, mientras que la presión dinámica se relaciona abarcando la fuerza de movimiento del recurso hídrico en movimiento. En tal sentido será crucial comprender ambas presiones en un sistema de fontanería por varias razones importantes (Kolstad, 2021).

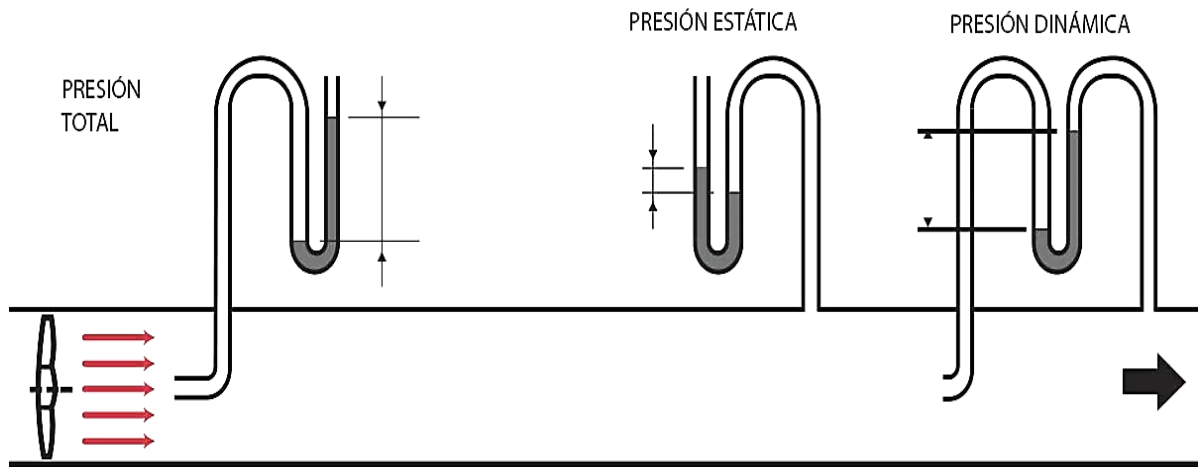


Figura 7. Presión estática y dinámica (Reyes, 2023).

2.2.8. Calidad de agua para riego

El pH neutro del agua es 7, así que cualquier medición de un fluido se califica solución alcalina de darse un pH mayor a 7, mientras que un potencial de hidrógeno menor de 7 indica agua ácida, el pH del agua ideal para el riego de cultivos generalmente se sitúa entre 5.5 y 6.5, aunque puede variar dependiendo del tipo de planta. Es esencial controlar y ajustar el pH del agua, garantizando así la salud y el crecimiento adecuado del cultivo (Suarez, 2012).

Dureza: se presenta como la acumulación de la mayoría de iones positivos básicos, así como los iones en calcita, Sr, Ba y Mg, por intermedio de bicarbonato sódico o carbonatos (Palacios, 2007).

La Turbidez: Es la presencia de arcilla y materia orgánica en suspensión y éste generalmente es muy habitual cuando se toma agua para aplicaciones de un arroyo de un río o de una laguna o mismo de un tanque australiano que esté que haya sido agitado entonces encuentra estas partículas en suspensión esto también actúa negativamente con algo similar a lo que es la dureza del agua porque estas partículas como arcilla limo y materia orgánica tienen cargas y estas cargas interactúan con los insecticidas fungicidas y herbicidas (Suarez, 2012).

2.2.9. Parámetros de riego en factor cultivo de alfalfa

El diseño agronómico es esencial en el plan de riego debido a la variedad de factores que deben considerarse como las características del suelo, el clima, los tipos de cultivos, la distribución de

las parcelas, las demandas hídricas en la plantación, sobre el factor agrícola, de la posibilidad de precipitación, con buena efectividad entorno a los requerimientos del fluido hídrico. En base al propósito del diseño agrónomo asegura el establecimiento logre proporcionar su porción adecuada de recurso hídrico suficiente y contrastar eficazmente su salinidad en tal sentido lograr una buena distribución del agua (Fuentes, 2003).

Este proceso se divide en base a dos etapas, en cálculos entorno a la cantidad de agua necesaria y así mismo determinar los indicadores de irrigación, como porción/dosis, el tiempo de irrigación y su repetición, el caudal requerido, la lapso de irrigación, cantidad y la disposición en los difusores (Fuentes, 2003).

2.2.10. Parámetros de riego en cultivos

a. Cultivo alfalfa (Medicago Sativa)

Denominado cultivo legumbre de acrecentamiento vertical, pudiendo proveer su productividad entre 4 y 7 años. Su sistema de raíces incluye una raíz principal que puede penetrar varios metros en el suelo, la planta tiene numerosos tallos rodeados en su base por múltiples yemas basales, formando una estructura llamada corona, la posición de esta corona, que puede estar por encima o por debajo de la superficie del suelo, varía según la variedad de alfalfa. Sus hojas suelen ser trifoliadas o multifoliadas (Suarez, 2012).

Las variedades de alfalfa se clasifican tradicionalmente según su respuesta a la latencia invernal, lo que afecta la estacionalidad de su producción. Puede ser empleada para pastoreo o como forraje seco sin embargo, en el tiempo en que se emplea para pastoreo en el mismo terreno de alfalfa, se encuentra un peligro de afectar al cultivo debido a que el vacuno pueda compactar el suelo, además del potencial problema de hinchazón en el vacuno si no se tiene un control adecuado del pastoreo (Suarez, 2012).

b. Evapotranspiración (ET_o)

La evapotranspiración de referencia abarca a la plantación misma, puede variar dependiendo de las condiciones climáticas como el entorno térmico, vapor de agua, difusión solar y entre otros,

en tal sentido que se cuantifica dado en milímetros de fluido como agua por lo tanto se determina en (mm/día) (Hidalgo, 2015).

Es comparable al método de evapotranspiración ETp, debido a que ambos están determinados principalmente por las condiciones climáticas, no obstante se distinguen la ETo se aplica según el tipo de agricultura determinado, normalmente en césped y alfalfa, con un desarrollo continuo de forma que abarca completamente la superficie del terreno (Hidalgo, 2015).

La evapotranspiración de referencia se refiere al nivel de evaporación y transpiración observado en una plantación agrícola con bajos niveles de perfil entre 7 a 15 cm que abarca todo el suelo y en absoluto no se ve restringido por la disponibilidad de agua (Hidalgo, 2015).

c. Factor de cultivo (Kc)

Expresa la cantidad de agua necesaria para la agricultura que corresponde con base a la valoración sobre evapotranspiración requerida con el fin de mantener el crecimiento idóneo en las plantas. Además, esta necesidad de agua se define en referencia al índice de evapotranspiración de la agricultura sana sobre una superficie con parámetros de terreno ideales y una proliferación óptima, asegurando un suministro de agua que permita alcanzar la producción máxima considerando las condiciones ambientales predominantes. Este parámetro se refiere a las fluctuaciones de acuerdo a la proporción hídrica que se utiliza para la agricultura absorbida por el terreno durante todo su desarrollo, a partir de la plantación hasta la recolección en la cosecha (Contreras, 2011).

d. Nivel de humedad efectiva (PE)

La precipitación de agua forma parte del procesamiento de conservación hídrica en el suelo de tal que forma una parte significativa abarcando la disponibilidad del fluido disponible. No obstante, solamente una pequeña parte deriva a la precipitación accesible con el fin del desarrollo agronómico, en tanto lo restante se echa a perder debido al escurrimiento y vaporación. Por tanto, la cantidad de esparcimiento de partículas de agua es parcialmente efectiva al emplear al cultivo y cubrir sus demandas de agua en tal forma contribuir el desarrollo efectivo, conocido como precipitación eficaz (Chang, 2002).

e. Requerimiento de agua (DA)

Denominado como la proporción hídrica presente para la agricultura de forma que cubra su requerimiento hídrico para su crecimiento orgánico. Por cuanto la agricultura no está apartada en su entorno, por el contrario conforma a un microsistema con ingresos y aperturas del fluido, lo que permite realizar un balance hídrico (Willet, 2000).

Las entradas refieren a toda la contribución hídrica al terreno, mientras la apertura corresponde a la reducción de humedad en el terreno debido a la transpiración evaporada presente ETC (Willet, 2000).

f. Módulo de irrigación (Mr)

La composición sobre el módulo de riego consecutivamente se desarrolla en tal forma, para una lámina de agua de 1 milímetro de altura por día, un metro cuadrado contiene un volumen de $0.001 \times 1 \times 1 = 0.001 \text{ m}^3$, lo que equivale a 1 litro por día (Acebedo, 2006).

En esas mismas condiciones, una hectárea es decir ($10,000 \text{ m}^2$) abarca una cantidad en fluido igual a $0.001 \times 100 \times 100 = 10 \text{ m}^3 = 10\,000 \text{ L/d}$, correspondiente en 0.116 L/s , por lo tanto dicha asignación abarca 1 milímetro por día se traduce abarcando el flujo constante referente a 0.116 L/s/ha , a fin de dar la asignación hídrica (Dp), el módulo de irrigación a un determinado terreno (Mr), se calcula utilizando la expresión (1):

$$Mr = 10\,000/86400 Dp \quad (1)$$

Por lo tanto:

Mr: Módulo de irrigación (L/s/ha)

DP: Requerimiento del programa

g. El agua en el terreno

La irrigación tiene como objetivo principal reponer la proporción adecuada del fluido hídrico consumida por el terreno agrícola, proporcionando así condiciones adecuadas en humedad adecuadas sobre un óptimo desarrollo de los cultivos (Acebedo, 2006).

h. Reserva hídrica en el terreno

La proporción adecuada de agua que está presente sobre el terreno es con el fin de ser absorbida por el cultivo se encuentra en el alcance entre la capacidad campo a 0.33 bar, así mismo por otro lado el punto perenne definitivo a 15 bar. Conservar el clima húmedo en el terreno por encima de la capacidad de campo podría provocar una limitación para el progreso natural del cultivo debido a la decadencia hídrica en terreno cultivado (Acebedo, 2006).

- Capacidad de campo (CC): Refiere al nivel máximo de adaptabilidad del terreno para conservar agua fuera de dificultades de evaporación, la cual puede lograrse de acuerdo con la composición del terreno desde 12-72 horas posterior de una irrigación abundante (Tarjuelo, 1999).
- Punto de marchitez permanente (PMP): Este indicador se caracteriza por síntomas de marchitamiento en la vegetación, decaída de hojuelas y limitado crecimiento como resultado del movimiento de agua proveniente de la tierra hasta el cultivo ocurre de manera lenta, mediante ello aproximadamente se presenta sobre un nivel energético a 15 bar (Royndan, 2016).

i. Profundidad de fibrosas (z)

Cada plantación presenta un modelo específico de la partición de su fibrosas, el cual podría presentar variaciones en repercusión de la edad del cultivo, la humedad durante su crecimiento, las propiedades del terreno y las propiedades distintivas de su entorno (Contreras, 2011).

j. Capa de irrigación neta (Ln)

Se representa en cantidad de vapor hídrico suministrada al terreno cultivado para cumplir con sus demandas de la agricultura cosechada a lo largo de varios días. Se suele expresar en milímetros de agua o en metros cúbicos por hectárea (Tarjuelo, 1999).

k. Lámina bruta (Lb)

Indica la administración exacta de agua debido a que lo requiere con el fin de suplir las exigencias netas de la irrigación. No todo el fluido insertado durante el roció tiende a retenerse en el suelo, parte de ello tiende a ausentarse por difusión y vaporización (Royndan, 2016).

2.3. Factores de irrigación

Revilla(2000), refiere de esta forma los factores de irrigación:

a. Constancia de irrigación (Fr)

Señala cuántas veces se riega en un mes, calculada al fraccionar la demandas o requerimientos totales de la propuesta sobre la lámina bruta. Esta formulación se presenta mediante el enunciado 2 (Acebedo, 2006).

$$Fr = Dp/Lb \quad (2)$$

b. Dosis real (Dr)

Se define como la alimentación hídrica necesaria a emplear en cada irrigación, calculada al fraccionar Dp sobre la frecuencia de irrigación Fr , redondeando al entero más cercano. Esta expresión se representa mediante la fórmula 3, (Acebedo, 2006).

$$Dr = Dp/Fr \quad (3)$$

c. Tiempo de riego (Tr)

Es la duración necesaria para aplicar la dosis real. Se calcula dividiendo la porción efectiva entre la pluviosidad del rociador, manifestado mediante la siguiente expresión (Royndan, 2016).

$$Tr = Dr/Pms \quad (4)$$

Expresado:

Tr : Tiempo de irrigación.

Pms : Pluviometría del rociador dado en horas.

d. Turno (T)

Se trata del intervalo de tiempo entre dos eventos de riego, medido en días, como dosis mensual (DM), frecuencia de irrigación (Fr) y se calcula utilizando la fórmula 5 (Royndan, 2016).

$$T = DM/Fr \quad (5)$$

Expresado:

Fr : Frecuencia de riego

DM : Dosis mensual

e. Postura (P)

Consta de la cantidad de ocasiones que puede irrigar en un mismo día esto repercute en función del tiempo que dure un riego a si mismo de la cantidad de horas disponible (Tdr) en el día a aplicar el riego, tiempo de riego en horas (Tr), consignado en la fórmula 6 (Royndan, 2016).

$$P = Tdr/Tr \quad (6)$$

Expresado:

Tr : Tiempo de irrigación en horas

Tdr : Cantidad de horas disponible para irrigación

f. Caudal de la bomba hidráulica

El caudal del sistema estará determinado por el tipo de aspersor seleccionado a su vez que es importante considerar los cálculos a llevarse en función al mes con los mayores requerimientos de irrigación, para la región de Puno es en octubre, para una estimación del caudal de salida de una bomba hidráulica se suele emplear una evaluación primero se inicia el bombeo con la ayuda de un envase con un nivel (volumen) identificado con empleo de un reloj, se activa la bomba, con el cronometro determinamos el tiempo t que se demora en llenarse el recipiente, dando como resultado el caudal de trabajo de la bomba hidráulica (Royndan, 2016).

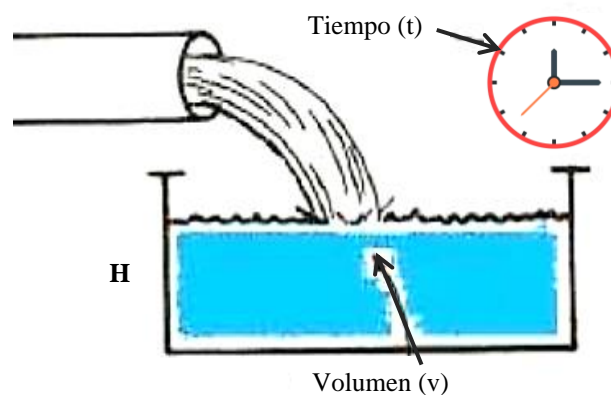


Figura 8. Evaluacion del caudal para una bomba (Royndan, 2016).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Hipótesis de la Investigación

3.1.1. Hipótesis general

Dado que se requiere mejorar la efectividad en el riego agrícola, la evaluación técnica-económica permitirá incrementar el uso de las bombas solares en el sector rural de Azángaro.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Dado que se van a utilizar bombas solares será necesario la estimación solar.
- Dado que se van a emplear bombas solares será necesario analizar las condiciones del recurso hídrico.
- Dado que se requiere mejorar la efectividad en el riego será necesario caracterizar económicamente las bombas solares frente a una tecnología alternativa.

3.2. Materiales o equipos

3.2.1. Módulos solares

Son equipos fundamentales para el aprovechamiento solar, cuya función principal es contener la emisión solar y producir energía en corriente continua, en la tabla 3 se observa la ficha técnica.

Tabla 3

Características del modulo sunshine solar de 265Wp.

Panel solar monocristalino 265 W	
Datos Electricos en STC (1000 W/m ² , Temp. Celda 25 °C, AM 1.5)	
Potencia pico(P_max)	265Wp
Voltaje en potencia pico(V_mp)	37.60V
Corriente maxima potencia(I_mp)	7.05A
Voltaje circuito abierto (V_oc)	46.25V
Corriente en corto circuito(I_sc)	7.54A
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Temperatura nominal de operación	-20 °C a 90 °C

Nota. Extraído de la ficha técnica del modulo solar.

Estos paneles fueron instalados con orientado a nuestro norte geográfico e implementado a 15° de pendiente con el fin de que tenga una máxima captación de irradiación solar, entonces en la figura 9, se precisa los módulos Sunshine empleados para la operatividad de las bombas.



Figura 9. Módulo fotovoltaico 265Wp, adaptación propia.

3.2.2. Bomba solar periférica superficial

Las bombas periféricas son mayormente empleadas para el bombeo de agua desde pozos artesanos con más demanda en la ciudad, generalmente se emplea una bomba periférica de una potencia de ½ HP, ya que el agua subterránea se encuentra a 10 m de profundidad en promedio en tal sentido no se requiere bombas de mayor potencia, tomando esto como referencia se empleó bombas solares de ½ HP potencia para ver cuál de estas dos bombas comerciales se desempeña mejor en un ámbito rural de riego.



Figura 10. Bomba superficial de ½ HP, adaptación propia.

Tabla 4

Especificaciones de la bomba solar periférica.

Bomba Solar Model QB60-DC	
Potencia	½ HP
Voltaje DC	24 V.
Caudal máximo (Qmax)	35 l/min. (2.1 m ³ /h)
Altura máxima (Hmax)	30 m.
Succión altura máxima (Suct. Hmax)	8 m.
Salida	1" x 1"
ICL	F
IP	54
Protector térmico	Si

Nota. Extraído de la ficha técnica de la bomba QB60-DC.

3.2.3. Bomba solar sumergible

El uso de bombas solares sumergibles es cada vez más en la región, debido a que esta nueva tecnología viene especialmente para tener una mayor durabilidad al estar sumergido en el interior del pozo hasta alcanzar la profundidad donde se encuentra el recurso hídrico a bombear, se emplea generalmente en el sector rural donde el agua es muy indispensable para el consumo, en otras ocasiones ya lo emplean aplicado a riegos parcelarios pero su costo es más elevado a diferencia de una bomba periférica solar.



Figura 11. Bomba sumergible ½ HP Difful, adaptación propia.

Tabla 5

Especificaciones de la bomba solar sumergible.

Bomba solar: Difful - 3DPC3.5-47-48-400	
Bomba solar	
Potencia	½ HP
Voltaje DC	48 V.
voltaje de entrada óptimo CC	60V – 90V
Caudal máximo (Qmax)	58.3 l/min. (3.5 m ³ /h)
Altura máxima (Hmax)	47 m.
Salida	1.25”
Motor r/min.	4000
IP	68
Insulation class.	F
Controlador bomba	
Voltaje entrada	< DC 105V.
Corriente entrada	0 – 17 Amp.

Nota. Extraído de la ficha técnica de la bomba 3DPC3.5

3.2.4. Aspersores akona fox

La elección de los aspersores adecuados para irrigar un sector de terreno de cultivo es indispensable, mediante el cual se optó por la elección de aspersores de la marca akona como se muestra en la figura 12, al ser más comercial en el mercado actual de nuestra región.



Figura 12. Aspersores de golpe de la marca Akona, adaptación propia.

3.2.5. Tubería de polietileno de 1" diámetro

La aplicación de HDPE proveniente del inglés (High Density Polyethylene) en la región es muy empleada para sistemas de riego, debido a su alta resistividad a presiones exteriores una vez enterradas en el parcelario también es adaptable para realizar un riego desplazado, es por eso que se empleó este material de una pulgada de diámetro, igual a la salida de agua de las bombas que son de una pulgada.



Figura 13. Tubería de 100 m polietileno, adaptación propia.

Si se quisiera aplicar un mayor diámetro de tubería habría pérdidas de caudal o si se instala de menor diámetro la bomba ejerce sobreesfuerzo dañando su vida útil, de esta forma se adquirió 100 metros de politubo para la conducción de agua para incidir en los acoples en T hacia los aspersores.

3.2.6. Manómetro de reloj

En el estudio de los fluidos, es esencial comprender la importancia de la presión, ya que permite el control y la medición del flujo. La presión, definida como la fuerza perpendicular ejercida sobre una superficie, puede ser medida insertando una sonda en el punto deseado de medición, se empleó dos manómetros de 30 Psi, como se denota en la figura 14, para poder medir la presión existente de ambas bombas solares el manómetro requiere su acople de $\frac{3}{4}$ bushin.



Figura 14. Manómetro, adaptación propia.

3.2.7. Multímetro

Instrumento de medición indispensable para el testeo de voltaje, corriente y potencia, que nos brinda los módulos fotovoltaicos para ver la interacción en la forma que repercute en cada una de nuestras bombas solares del tipo sumergible y superficial.



Figura 15. Multímetro, adaptación propia.

3.2.8. Accesorios

- Conexión T
- Codo
- Filtro anti retorno
- Mc4
- Conductores cable positivo/negativo

3.2.9. Herramientas

- Llave universal
- Cinta métrica
- Alicate
- Llave de presión
- Pinza amperimétrica
- Sierra
- Alicate de corte
- Atornillador
- Alicate de presión
- Pelacables

3.2.10. Utilitarios

- Libreta de apuntes
- Cámara
- Portátil

3.3. Metodología

3.3.1. Ubicación del proyecto

La evaluación para la comparación de las bombas del tipo sumergible y superficial, empleando alimentación fotovoltaica cual fue implementado en el anexo Tuturcuyo donde se encuentra a una elevación de 3925 msnm, con un clima seco y frío con ubicación -15.136802, -70.215962 como se muestra en la figura 16, obtenido por Earth Pro.

3.3.2. Estación de bombeo

- Latitud: 15°13'68.02"
- Longitud: 70°21'59.62"



Figura 16. Ubicación del terreno visto por Google Earth Pro (Adaptación propia).

3.3.3. Ubicación política

- Departamento : Puno
- Provincia : Azángaro
- Distrito : Santiago de Pupuja
- Sector : Centro Poblado de Tuturcuyo

3.3.4. Características del terreno

La aplicación del riego fue para un cultivo de alfalfa (medicago sativa), con un área aproximado de 1000 m² como se aprecia en la figura 17, perteneciente a una familia del Centro Poblado Tuturcuyo del distrito de Santiago de Pupuja.



Figura 17. Cultivo agrícola de alfalfa a irrigar (Adaptación Propia).

3.3.5. Reservorio de almacenamiento del recurso hídrico

El agua para la irrigación se almacena en dos reservorios de concreto esta se acumula en temporadas de lluvia, estos reservorios cuentan con medidas de 2.8 m x 2.8 m, y con una profundidad de 2 m, mediante el cual fue bombeada por las bombas solares.



Figura 18. Almacenamiento de agua en temporadas de lluvia (Adaptación Propia).

3.4. Tipo, nivel y diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

Corresponde a un estudio aplicativo razón por que se busca aplicar los conocimientos referentes para la evaluación técnica de las bombas solares del tipo sumergible y del tipo superficial con el fin de la irrigación agrícola en la zona del estudio (Hernández, 2018).

3.4.2. Enfoque del estudio

El presente estudio es cuantitativo puesto que se recopiló datos numéricos de las mediciones que se obtuvieron de la evaluación técnica de las bombas solares.

3.4.3. Diseño del estudio

Corresponde a una investigación descriptiva, a su vez se apoya en un contexto cuantitativo debido que nos basamos a un entorno teórico con el fin de fundamentar el estudio para entender y expresar los hechos reales (Hernández, 2018).

3.4.4. Población y muestra

En población de estudio está conformada para el Centro Poblado de Tuturcuyo correspondiente al distrito de Santiago Pupuja – Azángaro. En muestra de estudio concierne para una familia del anexo Tuturcuyo.

3.5. Recurso solar

Referente a la obtención de datos se empleó bases de datos en línea, a fin de tener una estimación real de la potencia en irradiación para la zona de estudio e aplicar en instalaciones, así mismo es relevante para este presente trabajo de forma que existen diversas plataformas las cuales proporcionan componentes de la irradiación solar tales como la irradiancia normal directa, irradiancia global horizontal y la irradiancia difusa horizontal. Estas mediciones son realizadas por las Estaciones Solares Meteorológicas Remotas del Sistema SEMS, y por grandes grupos que estudian el recurso solar a nivel mundial, para nuestro trabajo se adquirió datos de Atlas Solar Global, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) y Nasa-Power, y

específicamente para nuestra zona de la comunidad de Tuturcuyo, como se muestra en la figura 19, para una elevación de 3925 m.s.n.m.

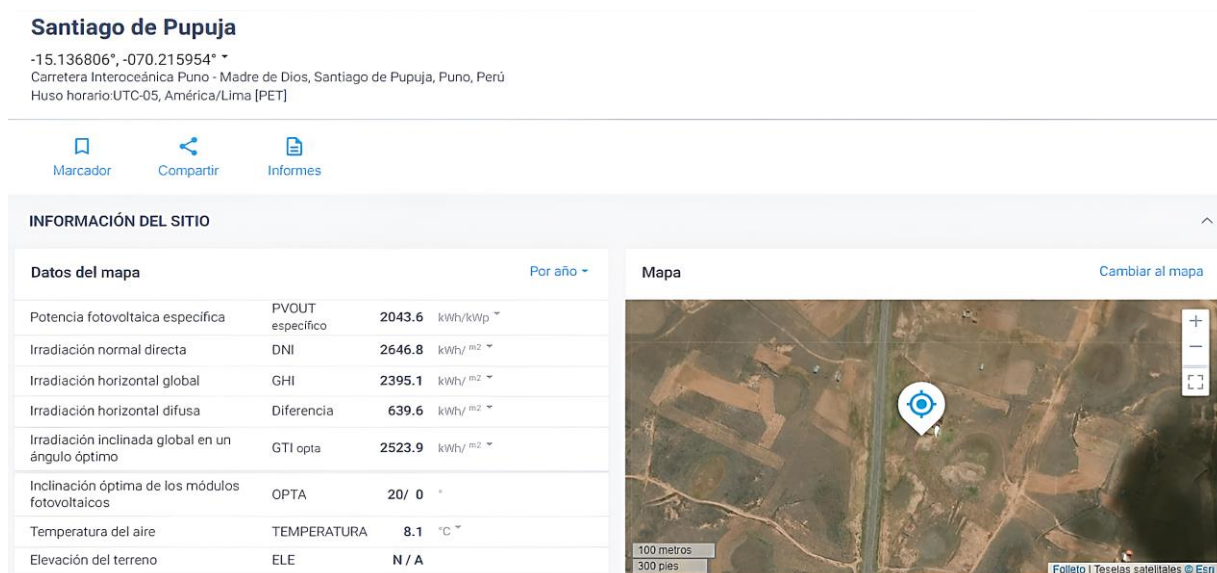


Figura 19. Data de recurso solar para la zona de Tuturcuyo (Atlas Solar, 2024).

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6	62								45	151	237	149
6 - 7	320	301	309	395	377	308	247	375	506	547	603	434
7 - 8	441	440	497	636	742	744	724	752	712	692	734	545
8 - 9	500	490	585	735	857	862	845	861	813	768	799	604
9 - 10	526	495	574	751	905	916	908	916	854	794	821	620
10 - 11	559	532	598	754	916	939	930	938	854	809	842	650
11 - 12	623	597	638	750	902	937	924	923	820	806	857	705
12 - 13	607	598	652	742	869	908	894	884	785	764	784	617
13 - 14	508	517	606	678	808	864	842	829	719	655	681	493
14 - 15	401	405	489	588	731	805	790	758	627	546	569	385
15 - 16	351	326	404	516	662	723	712	678	551	464	491	318
16 - 17	312	296	359	422	485	537	555	539	450	382	403	299
17 - 18	254	244	175	90	27	29	51	122	110	106	157	218
18 - 19	13											
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5,476	5,239	5,887	7,057	8,281	8,573	8,420	8,576	7,845	7,482	7,980	6,036

Figura 20. Irradiación directa en Wh/m²/mes (Atlas Solar, 2024).

Los datos de irradiación normal directa para nuestra zona de trabajo durante un período de un año se muestran en la figura 20. También se puede apreciar la irradiación normal directa en promedios durante los meses evaluados en suma mensual que son 5,476 Wh/m², 5,239 Wh/m² y 5,887 Wh/m² y la irradiación normal directa para un promedio anual por día sería 7.247 kWh/m²/día.

3.5.1. Estimación de irradiación

Al emplear módulos fotovoltaicos es necesario conocer la estimación de radiación solar que se presenta en el lugar del estudio al evaluar nuestras bombas solares, es esencial tener una estimación sobre la proporción de energía solar que llega en la zona, lo cual se refiere a la irradiación. Hay varios métodos para determinarla, y en esta aplicación utilizamos los datos proporcionados por la plataforma NASA Power. Posteriormente, empleamos el software Microsoft Excel para procesar y organizar estos datos en formato tabular, donde se mostrarán en resultados.

3.6. Evaluación agronómica

Para la evaluación agronómica se realizó con el fin de obtener la aplicación de evaporación transpirativa potencial denominado (Etp), eficacia de precipitación, evapotranspiración real de medicago sativa, cálculo del requerimiento hídrico, evaluación lamina neta, cálculo sobre la lámina bruta, designación de modelo en los emisores, entre otros factores.

3.7. Cálculo del requerimiento de agua en el cultivo

3.7.1. Evapotranspiración (Etp)

Se empleó el proceso de Hargreaves utilizando información de la sensación térmica, condensación hídrica y elevación del sitio. La fórmula 10 proporciona para estimar la Etp.

Tabla 6

Condiciones meteorológicas MET Pucara.

Meteorología - MET Pucara	
Mes	Octubre
Días	31
Latitud	Sur – 15 °
Altura	3925 msnm
Temperatura promedio (TMF)	12.7387 °C
Humedad promedió (HR)	59.3451 %
Precipitación por mes (P) mm/día	31.2 mm

Nota. Extraído de (SENAMHI, 2023)

Encontramos el factor mensual de latitud (MF) utilizando la tabla 7, y que el mes más crucial y reseco viene a ser octubre. Esto se designó consultando el cuadro que especifica los factores mensuales considerando a latitud 15°.

Tabla 7

Índice de latitud mensual.

Lat. Sur	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
14	2.68	2.31	2.34	1.95	1.73	1.53	1.64	1.89	2.14	2.49	2.54	2.7
15	2.7	2.32	2.33	2.93	1.7	1.5	1.61	1.86	2.13	2.49	2.56	2.73

Nota. Extraído de (SENAMHI, 2023)

Expresa:

$$MF = 2,49 \text{ mm/mes}$$

$$TMC = 12.73 \text{ °C}$$

$$HR = 59.34 \%$$

$$\text{Elevación} = 3925 \text{ m.s.n.m.}$$

Sustituimos los valores correspondientes en las ecuaciones respectivas, para poder calcular la Temperatura Media Mensual °F (TMF) empleamos la siguiente formula:

$$TMF = 9/5 \times TMC + 32 \quad (7)$$

Entonces sustituimos:

$$TMF = 9/5 \times 12.73 + 32 = 54.91$$

En consecuencia, resolvemos el factor de rectificación para la humedad relativa (CH), donde generalmente se emplea la siguiente formula:

$$CH = 0.166 \times \sqrt{(100 - HR)} \quad (8)$$

Sin embargo, por formula nos indica que si la HR sobrepasa el 64% se emplea dicha fórmula, por el contrario de que la HR sea menor a 64% se considera CH=1, Por lo tanto, para nuestro caso es 59.34 % por consiguiente es:

$$CH = [1]$$

Evaluamos el factor de la corrección según la elevación donde se encuentra nuestro proyecto a 3925 m.s.n.m., mediante la ecuación:

$$CE = 1 + 0.04 \times E(m. s. n. m.) / 2000 \quad (9)$$

Sustituimos la elevación del proyecto:

$$CE = 1 + 0.04 \times \frac{3925}{2000} = 1.07$$

3.7.2. Evapotranspiración potencial

Como se menciona anteriormente se empleó el criterio Hargreaves en función prescindible de la temperatura, consignado por la fórmula:

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE \quad (10)$$

Entonces:

$$ETp = 2.49 \times 54.91 \times 1 \times 1.07$$

$$ETp = 146.29 \text{ mm/mes}$$

Evaluamos Kc utilizando la tabla proporcionada del anexo 5. Es importante tener en cuenta que los cultivos tienden a requerir más cantidad de fluido hídrico en la etapa de madurez, así misma conocida como fase 3.

A partir de lo recopilado, podemos notar al coeficiente de cultivo Kc, como la alfalfa (medicago sativa), se establece como uno. Utilizaremos este número para el proceso de la estimación de determinar su mayor necesidad hídrica del cultivo mencionado anteriormente a continuación:

Entonces:

$$ETp = 146.29 \text{ mm/mes}$$

$$Kc = 1$$

3.7.3. Evapotranspiración actual (ETA)

Esta estimación de la evapotranspiración actual o también conocida como real de tal forma lo calculamos utilizando la fórmula siguiente:

$$ET_c = K_c \times ET_p \quad (11)$$

Entonces:

$$ET_c = 1 \times 146.29 = 146.29 \text{ mm/mes}$$

3.7.4. Precipitación efectiva (PE)

Calculamos utilizando la formulación 12, dado en función a la cantidad de lluvia por mes viene a ser 31.2mm/mes.

$$PE = 0.6 \times P - 10 \quad (12)$$

Reemplazando:

$$PE = 0.6 \times 31.2 - 10$$

$$PE = 8.72 \text{ mm/mes}$$

3.7.5. Requerimiento hídrico (DA)

Se consideró la fórmula con el fin del cálculo sobre la cantidad hídrica requerida para la plantación, entonces lo hallamos por la ecuación:

$$DA = ET_a - PE \quad (13)$$

$$DA = 146.29 - 8.72$$

$$DA = 137.57 \text{ mm/mes}$$

$$DA = 4.43 \text{ mm/día}$$

3.7.6. Demanda del proyecto (Dp)

La cantidad requerida del trabajo (Dp), tendrá que ser calculado como es el suministro hídrico necesario para la irrigación de la agricultura Da sobre Er.

$$Dp = Da/Er \quad (14)$$

Para la eficiencia del riego se empleará la siguiente ecuación:

$$Er = E_a * E_d * E_c \quad (15)$$

Donde:

Dp : Demanda de agua proyecto (mm).

- Er : Eficacia del riego (%).
- Ea : Eficacia en la ejecución (%).
- Ed : Eficacia en la distribución (%).
- Ec : Eficacia en la conducción (%).

En el contexto de los componentes que conforman la irrigación agronómica consideran principalmente las pérdidas que suceden a un ámbito de área, dado que es conducida canalizada a partir de la fuente de agua, lo que minimiza las pérdidas en esta etapa. Dicho principio se extiende también a la distribución del agua. Por lo tanto, según la tabla del anexo 6, se define como 75 %. Es por esto que la eficacia de la irrigación se equipara esencialmente a la eficacia de aplicación, y esto se define mediante una fórmula.

$$Dp = DA/Er \quad (16)$$

$$Dp = 137.57 \frac{mm}{mes} / 0.75 = 183.42 \text{ mm/mes}$$

3.7.7. Módulo de riego

$$Mr = 10000/86400 \times Dp \quad (17)$$

Sustituimos en la formula:

$$Mr = \frac{10000}{86400} \times \frac{183.42}{31} = 0.68 \text{ l/s/ha}$$

3.7.8. Lamina de riego

La efectuación de Ln y Lb de irrigación se efectuó utilizando la fórmula 19, la cual requiere la lámina agua retenida en cm (La), (Da), longitud de raíces eficaz dado en cm (D), capacidad se expresa % (C.C.) al igual que P.M.P.

$$La = (CC - PMP)/100 \times Da \times d \quad (18)$$

Datos:

- D = 90 cm
- Da = 1.45 (Tabla del anexo 6)
- C.C. = 16.28 % (Tabla del anexo 6)

P.M.P. = 7.78 % (Tabla del anexo 6)

% agotamiento = 60 %

Eficacia de aplicación= 75% (Tabla del anexo 5)

3.7.9. Lámina de agua almacenada (La)

Entonces reemplazando en la fórmula 18:

$$La = 16.28 - 7.78 / 100 \times 1.45 \times 90 = 11.09 \text{ cm}$$

3.7.10. Lámina neta de riego (Lnr)

$$L.N.R. = La \times \% \text{ de agotamiento} \quad (19)$$

$$L.N.R. = 11.09 \times 0.60 = 6.66 \text{ cm}$$

3.7.11. Lámina bruta de riego (Lbr)

$$L.B. = (L.N.R.) / (Ea(\text{Eficiencia de riego})) \quad (20)$$

$$L.B. = 6.66 \text{ cm} / 0.75 = 8.87 \text{ cm}$$

Para determinar la lámina neta de riego y lámina bruta, con uso de la tabla del anexo 6, las cuales fueron generadas a partir de un análisis efectuado por el ministerio de agricultura en la región.

Se ha determinado que la eficiencia aplicada (Ea), es en función a la lámina bruta de riego (Lbr) a si mismo se asume un 75% de eficiencia para riego por aspersión. Además, se ha tenido en cuenta un 60 % de nivel de agotamiento.

3.7.12. Infiltración en el suelo agrícola

Tabla 8

Velocidad de infiltración básica en función a su textura,

Composición de Textura	Velocidad de infiltración en (mm/hr)
Arenoso Grueso	50
Arenoso	19
Franco Arenoso	16
Franco Arcilloso	6.4

Nota. Extraído de (Jones, 2016).

Nuestra situación, de acuerdo con los datos recopilados y la información obtenida del “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” (SENAMHI) de la estación hidrológico más cercana en nuestro proyecto, se determinó la clasificación del terreno del lugar es principalmente franca arenosa derivando a franca arcillosa arenosa. En consecuencia, según lo indicado en la tabla 8, se estima que la velocidad de infiltración será de aproximadamente 16 mm por hora.

3.7.13. Elección de aspersores

La empleabilidad de un marco de irrigación es alternativa puesto que nuestro sistema trabaja con laterales móviles tal así que las posiciones de los emisores son fácilmente desplazables, entonces como referencia el diseño se opta con dimensiones de doce por doce metros cuadrados.

La selección del emisor se basó en las recomendaciones del catálogo AKONA (Irrigation Systems), se eligió difusores de golpe con giro de 360°, diseñado para sectores circulares. Sus características técnicas incluyen dos boquillas de 5.0 mm x 3.2 mm, una presión de 1.5 bar a 3.5 bar, un caudal de trabajo de 1.92 m³/h 2.94 m³/h y un alcance de mojado de 12.3 a 20.3 m.

3.7.14. Número y disposición de emisores

La estimación de la cantidad de difusores (N_a), lo realizamos considerando que su distancia mínima entre ellos (18 m) será dentro de cada ala, mientras que la distancia máxima (22 m) será entre alas. Por lo tanto, se determinará de la siguiente manera:

$$N_a = \frac{60}{22} = 2.72$$

Entonces como resultado 2.7 redondeamos:

$$N_a = 3 \text{ Aspersores}$$

3.7.15. Desarrollo de los criterios de irrigación

Se toma en consideración los siguientes datos para la obtención de los resultados para una adecuada irrigación del cultivo.

- $L_b = 8.87 \text{ cm}$ (Permeabilidad del terreno)

- $P_{ms} = 8.0 \text{ mm/h}$ (Pluviosidad del sistema)
- $MR = 12 \times 12 \text{ m}^2$
- $T_{dr} = 4 \text{ horas/día}$ (Crit.P)
- $D_p = 183.42 \text{ mm/mes}$

Entonces de acuerdo a lo desarrollado anteriormente en los cálculos, se realiza los reemplazos en las fórmulas ya desarrolladas donde a continuación se detalla los resultados para una aplicación adecuada de riego para el cultivo de alfalfa.

a. Frecuencia de riego

$$Fr = 183.42/88.7 = 2.06$$

$$Fr = 2 \text{ Riegos/mes}$$

b. Dosis real

$$D_r = 183.42/2$$

$$D_r = 91.71 \text{ mm}$$

c. Pluviometría del aspersor

$$P_{ms} = 2500/(12 \times 12) = 17.36$$

$$P_{ms} = 17 \text{ mm/h}$$

d. Tiempo de riego

$$T_r = 91.71/17 = 5.39$$

$$T_r = 5 \text{ horas}$$

e. Turno

$$T = 31/2$$

$$T = 15 \text{ Dias}$$

f. Postura

$$P = 4/5$$

$$P = 0.8 \text{ Postura/día}$$

3.7.16. Sistema de módulos fotovoltaicos orientación e instalación

La producción máxima de un panel se logra cuando la parte superior de los módulos está direccionada al ecuador, esto significa que si la instalación se encuentra al hemisferio sur tiene que direccionarse al norte y viceversa (Espinoza, 2021).

La potencia máxima se obtiene durante el año cuando la inclinación es aproximadamente equivalente a su latitud sobre el lugar. Por lo tanto, también se emplea en función a donde se encuentra el proyecto, donde la latitud es de $-15,425195280$, los paneles solares estarán orientados hacia el norte.

La instalación de los módulos fotovoltaicos se realizó en el techo de la cubierta del sistema de almacenamiento del recurso hídrico, en tal forma a su accesibilidad se pueda realizar limpieza e aplicar un enfriamiento por agua y generar una mayor eficiencia, en la instalación es adaptable para una inclinación de 15° deseada para su máximo aprovechamiento solar.



Figura 21. Montaje del sistema fotovoltaico.

3.7.17. Instalación de las Bombas Solares

Los equipos fundamentales son las bombas solares al evaluar los parámetros técnicos de una bomba solar es esencial garantizar su eficiencia y rendimiento óptimos. Estos parámetros incluyen la capacidad de bombeo, la presión de trabajo, la potencia requerida y la eficiencia del sistema. Al comprender y evaluar estos aspectos técnicos, los diseñadores y usuarios pueden seleccionar la bomba adecuada para sus necesidades específicas, maximizando así la producción de agua y minimizando el consumo de energía. En tal sentido que la evaluación de estos parámetros permite identificar posibles problemas o deficiencias en el sistema, lo que facilita la implementación de medidas correctivas y garantiza un funcionamiento confiable y duradero de la bomba solar.

Es esencial realizar una instalación correcta en las dos bombas solares, la bomba sumergible debe estar completamente sumergido en el fondo del agua así mismo para la bomba superficial la tubería de conducción y el filtro deben estar en fondo para que se obtenga una succión adecuada de agua, para asegurar su funcionamiento adecuado y prevenir posibles fallas.



Figura 22. Instalación de las bombas solares.

Una instalación adecuada garantiza que la bomba aproveche eficientemente la energía solar para operar de manera óptima. En resumen, evaluar los parámetros técnicos de una bomba solar es esencial para optimizar su desempeño, mejorar la eficiencia energética y garantizar una operación confiable a largo plazo. Además, para efectuar la vida útil de la bomba, es fundamental mantener las directrices del fabricante y realizar mantenimiento continuo e evitar posibles problemas en el futuro. Una instalación correcta no solo asegura un funcionamiento eficiente, sino que también contribuye a la durabilidad y confiabilidad general del sistema.

3.7.18. Instalación de sistema de conducción hídrico

Después de haber instalado las bombas solares, se realizó la colocación de la tubería de polietileno para esto se hizo una excavación de 15 cm, para cubrir la tubería hasta el terreno de alfalfa, como se observa en la figura 23. A razón de que pudiera haber factores externos que talvez puedan afectar la tubería, en tal sentido se encuentra a una distancia de 30 m. desde el

punto de recurso hídrico hasta el punto el terreno de alfalfa para posteriormente continuar para el montaje de los difusores hídricos.



Figura 23. Instalación de la conducción hídrica.

El sistema de conducción hídrico para riego por aspersión es crucial para garantizar un uso eficiente del agua y prevenir pérdidas innecesarias. Un montaje adecuado implica asegurar que las tuberías estén correctamente unidas y selladas para evitar fugas, lo cual no solo conserva el recurso hídrico, sino que también optimiza la distribución del agua para irrigar nuestro cultivo.

La instalación precisa también contribuye a mantener la presión del agua en niveles óptimos, lo que favorece una cobertura uniforme del riego e efectiva del suelo y el cultivo de alfalfa

3.7.19. Montaje de Aspersores

Para estudio implementado con tres aspersores de impacto circular y aspersores sectoriales para lograr una buena distribución de riego efectivo en el cultivo de alfalfa. Nuestros aspersores desempeñan un rol esencial en la dispersión uniforme del agua por el campo, asegurando una cobertura total de la superficie del cultivo.

Un montaje inapropiado podría provocar una distribución desigual del agua, lo que perjudicaría el crecimiento y la producción de la alfalfa. Es crucial considerar elementos como la ubicación y separación entre los aspersores, es por eso que en el diseño agronómico se asigna que la

separación entre aspersores es de 24 m. cubriendo un radio de 12 m. y así mismo para zonas donde se requiere más agua se reajusta el aspersor sectorial para que de esta forma incide en dicho lugar con más frecuencia el aspersor.



Figura 24. Montaje de los aspersores.

Algunas características:

- Debido a los muelles de acero inoxidable de alta resistencia, posee una excelente rotación e irrigación incluso a bajas presiones de 1.5 bar.
- Con arandelas de teflón duraderas para lograr un menor desgaste con buena rotación.
- Resistencia sobre rayos UV.
- Radio de 10-12 metros. Círculo completo de 20-24 metros.
- Caudal de 550-1600 L/h.
- Para un ahorro máximo de energía y una dispersión uniforme del agua, la presión de trabajo sugerida es de 2 a 3 bares.

Además, se debe tener cuidado con la altura en esta ocasión se tomó en consideración una altura de 85 cm de altura de aspersor esto en función a que se vio que la alfalfa alcanza una altura máxima de 70 cm en consecuencia, para evitar interferencias con las plantas y maximizar la eficacia el agua.

3.7.20. Montaje de Manómetros

Finalmente, el empleo de este instrumento de medición fue indispensable ya que mediante ello pudimos ver la presión en el punto inicial donde bombea cada bomba solar y después en la última parte de la tubería antes de llegar al último aspersor, de esta forma se recolecto datos para ver el desempeño de aspectos técnicos de la bomba sumergible y bomba superficial.



Figura 25. Montaje del 1er Manómetro.

Adicionalmente como recomendación conocer la presión en cada punto nos posibilita ajustar el sistema para prevenir sobrepresión o escasez de agua en áreas específicas, mejorando así el rendimiento del riego y fomentando un desarrollo saludable del cultivo.



Figura 26. Montaje del 2do Manómetro.

También, el empleo del manómetro nos facilita detectar de manera temprana posibles obstrucciones al emplear aguas sucias en este caso para nuestro proyecto se empleó agua limpia

cosechada, por lo contrario, con aguas sucias con residuos nos permitirá tomar medidas oportunas y evitar pérdidas de agua. Al concluir las instalaciones de todo el sistema en conjunto, se realizó las revisiones finales de correcto funcionamiento de todos los equipos y accesorios instalados, para dar paso a las evaluaciones correspondientes de manera inter-diaria durante un periodo de dos meses, en los resultados se mostrará los datos obtenidos con su debida interpretación.

3.8. Condiciones hídricas

Para el análisis metodológico básico de muestreo sobre el fluido hídrico para la determinación de la calidad de agua como parámetros a tomar en cuenta tal es la acidez, alcalinidad, presencia de sales u otros factores que pudieran afectar a nuestro cultivo a irrigar afectando significativamente en la eficiencia de producción.

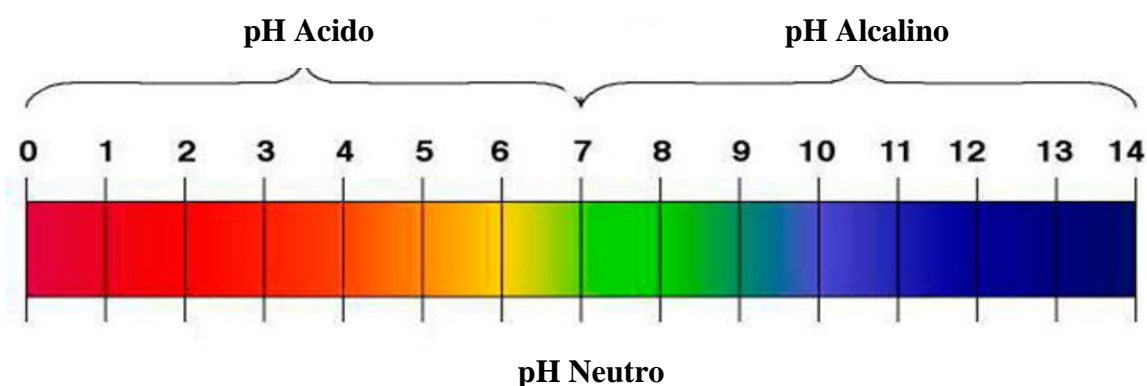


Figura 27. Grafico nivel de indicador de Ph (Kolstad, 2021).

Primeramente, para poder saber el nivel de pH del agua se empleó el método tira de papel pH en la muestra de agua, primeramente, se retiró la tira y se tuvo que esperar unos segundos para que el color se desarrolle para después comparar el color de la tira con la escala de colores provista con el papel pH.

Este método es una técnica, rápida y conveniente frente a investigaciones en campo a diferencia de otros métodos que requieren de procesos más rigurosos en laboratorio. Por otra parte, la dureza del agua se define por agua blanda mediante visualización y el parámetro de pH, en cierta manera van en correlación, si el nivel de pH fuera muy ácido se encontraría también con presencia de agua dura.

Por ultimo para la determinación de la turbidez simplemente se empleó la inspección visual al ser proveniente de agua de lluvia cosechada en un reservorio de concreto sin factores de contaminantes, dichos parámetros se dan a conocer en los resultados del análisis básico del recurso hídrico.

3.9. Caracterización técnico-económico

La evaluación frente a otra tecnología convencional es esencial para ver la diferencia en cuestiones de inversión y ganancias del proyecto, entonces se desarrolló el análisis.

El objetivo de invertir a un plan de proyecto es recobrar la inversión a medio plazo o un largo plazo de tiempo así mismo generar una mayor productividad. Con el fin de determinar estas cuestiones se realizó una evaluación financiera frente a otro escenario convencional de una motobomba diésel.

Tabla 9

Costo de inversión del proyecto.

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.(S/)	Sub - total(S/)
Equipos de bombeo solar				
Módulos fotovoltaicos de 265 Wp	Unid.	2	650.00	1,300.00
Bomba Superficial de ½ HP- Sumac Inti	Unid.	1	450.00	450.00
Bomba Sumergible de ½ HP- Diffull	Unid.	1	1,450.00	1,450.00
Conectores MC4	Unid.	4	10.00	40.00
Cinta Aislante	Unid.	2	3.00	6.00
Multímetro	Unid.	1	60.00	60.00
Cables	m.	30	1.80	54.00
Sub Total				3,360.00
Equipos de irrigación				
Aspersores Akona	Unid.	3	20.00	60.00
Manómetro	Unid.	2	50.00	100.00
Manguera polietileno 100m.	m.	1	100.00	100.00
Tubo PVC 5 m.	m.	1	25.00	25.00
Adaptador rosca	Unid.	6	2.50	15.00
Codo PVC	Unid.	4	2.50	10.00
Tee HDPe	Unid.	3	10.00	30.00
Unión HDPe	Unid.	3	7.00	21.00
Reductor 1"-3/4	Unid.	3	2.50	7.50

Continuación.

Bushin-manometro	Unid.	2	1.50	3.00
Abrazadera	Unid.	3	1.00	3.00
Filtro antiretorno	Unid.	2	10.00	20.00
Teflon	Unid.	2	3.00	6.00
Sub_Total				400.50
Servicios				
Transporte y otros gastos generales	-	-	130.00	130.00
TOTAL				3,890.50

Nota. Autoría propia.

Escenario alternativo frente a un proyecto a motobomba diésel, en este escenario la motobomba debe estar en funcionamiento en función al tiempo de irrigación que es de 5 horas durante un día hasta un próximo riego dentro de 15 días, entonces para que esta motobomba diésel esté en funcionamiento requiere 1.5 L. de combustible por hora de funcionamiento, es decir se requiere 15 L. igual a 4 Galones de combustible para el bombeo hídrico para un total de 10 horas, que vendría a ser para un mes, en cuestión de costos el galón de combustible está a S/ 18.49 en ese sentido en la tabla 10 se detalla un escenario de inversión a combustible.

Tabla 10

Escenario alternativo a costo de inversión a motobomba diésel.

Materiales y equipos	Unidad	Cantidad	P.U.(S/)	Sub - total(S/)
Equipos de bombeo diésel				
Motobomba diésel ½ HP	Unid.	1	350.00	350.00
Combustible para un año	Galón	12	18.49	887.52
Sub Total				1,237.52
Equipos de irrigación				400.50
Servicios				
Transporte, montaje y otros gastos generales	-	-	100.00	100.00
TOTAL				1,738.02

Nota. Autoría propia.

3.9.1. Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa

Entonces se hace uso de determinados criterios para analizar la aplicabilidad de la aplicativo. Por lo tanto, el Valor Actual Neto(VAN) y la Tasa de Retorno Interno(TIR) se emplea llevando a cabo una estimación de la durabilidad del sistema de bombeo, determinado que óptimamente trabaja en promedio a diez años dependiendo del cuidado durante la vida del equipo.

Se realiza una evaluación económica para cuantificar la rentabilidad, del proyecto, incluidos los importes el sistema de bombeo, los importes de mantenimiento y operación (a lo largo del ciclo de vida del sistema, tal es alrededor de 10 años), la tasa interna de retorno, el tiempo de recuperación de la inversión y la tasa de retorno.

Es importante destacar que, con este proyecto la cosecha anual en lugar de dos aumentará significativamente en tal sentido podrían llevarse a cabo hasta cinco o seis cosechas al año, con la debida irrigación. Entonces, utilizando el proyecto de irrigación con bombeo solar y la cosecha de alfalfa, evaluamos la rentabilidad en costos de inversión tecnológica para el año 2 con y sin el sistema de bombeo solar en el lugar del proyecto de la siguiente forma:

Calculamos la inversión para la implementación de este proyecto donde consta del sistema de bombeo solar, con la adición del sistema de irrigación por aspersión, estos son especificados en negativo puesto que son un desembolso monetario directo de caja.

Inversión = (- Sistema bombeo solar) + (- Sistema de irrigación por aspersión)

Inversión = - S/. 2,910.00 – S/. 401.00 = S/. -3,311.00

Para calcular los ingresos incrementales será de la siguiente manera:

Ingresos Incrementales = Ingresos con proyecto – Ingresos sin proyecto

Ingresos Incrementales = S/. 3,750.00 – S/. 1,500.00 = S/. 2,250.00

Para calcular los egresos incrementales será de la siguiente manera:

Egresos Incrementales = Gastos operativos con proyecto – Gastos operativos sin proyecto

Egresos Incrementales = S/. 500.00 – S/. 250.00 = S/. 250.00

Para calcular el efecto neto será de la siguiente manera:

Efecto Neto = Ingresos Incrementales – Egresos Incrementales

Efecto Neto = S/. 2,250.00 – S/. 250.00 = S/. 2,000.00

Finalmente calculamos el flujo de caja nominal dado para el año 2, tal que una adición del efecto neto agregado con la inversión en mantenimiento.

Flujo de caja nominal = Inversión en mantenimiento – Efecto neto

$$\text{Flujo de caja nominal} = S/ -145.50 + S/ 2,000.00 = S/ 1,855.00$$

Como se mencionó anteriormente, el procedimiento se llevó a cabo en el año 2 y se calculó una inversión anual de S/. - 145.50 que corresponde al 5% del mecanismo del sistema de bombeo solar correspondiente a S/. -2,910.00. El tratamiento se llevó a cabo de la misma forma en los demás años, solo para el año uno se varió el planteamiento debido a que no habría ganancias.

Por último, una vez calculado el flujo de caja nominal consignado del año uno hasta el décimo año calculamos mediante la formulación del valor actual neto (VAN) mediante la formulación 21, para estos cálculos se realizó en el Excel y además del criterio de la tasa interna de retorno, hasta el décimo año de la evaluación económica.

$$VAN = -1 + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (21)$$

Donde:

- I : Dispendio inicial de la inversión año 1 [S/]
- N : Número de ciclos considerados
- Q : Simboliza los flujos de caja anuales
- r : Tasa de interés según Agro-banco 15%

Finalmente, para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se emplea la fórmula del VAN igualada a cero para hallar la tasa, la cual será también desarrollado mediante la formulación del software Excel, en tal forma se presentan el resumen de los cálculos realizados para la irrigación de alfalfa mediante bombas solares y su denotación en la viabilidad económica frente a la tecnología convencional motobomba diésel de sí mismo evaluado para el riego de alfalfa.

3.9.2. Periodo recuperación del Capital (PBP)

El costo de recuperación del capital, denominado en inglés “Payback Period”, para este cálculo se debe aplicar a un proyecto viable, entonces se descarta la estimación para la bomba diésel puesto que no es viable, por lo tanto, se realiza para el riego solar, mediante la fórmula 22.

$$PBP = \text{Periodo Ult. con Flujo Acum. nega.} + \frac{\text{Valor absoluto del ultimo flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del F.C. acumulado en el siguiente periodo}} \quad (22)$$

Por otra parte, se presenta una comparativa en adquisición, operación, mantenimiento y sostenibilidad en la tabla 11, en base a un escenario alternativo de la empleabilidad de una motobomba diésel se puede ver que en primer año se tiene las inversiones que consta con el gasto de combustible para la operatividad del sistema, consecutivamente para los próximos años.

Tabla 11

La bomba solar frente a motobombas diésel

Bomba Solar de ½ HP	Motobomba de ½ HP
<p>Adquisición: Una bomba solar de ½ HP el precio puede oscilar S/.450.00 Soles a S/. 1450.00 Soles, , su costo es accesible pudiendo incrementar dependientemente a tecnologías más actuales de mayor eficiencia.</p> <p>Operación: Para el funcionamiento óptimo de la bomba de ½ hp se requiere 2 módulos fotovoltaicos superiores a 250Wp conectados en paralelo, de esta manera la bomba puede funcionar continuamente siempre que se cuente con buena radiación solar para la captación aprovechable por los módulos fotovoltaicos</p> <p>Mantenimiento: En bombas solares generalmente en bombas encapsuladas no requieren un mantenimiento constante se le puede hacer una revisión anual siempre dependiendo del agua, las bombas solares no requieren un mantenimiento constante debido a su fabricación.</p> <p>Sostenibilidad: Las bombas solares más amigables con el medio ambiente en este caso, ya que aprovechan la energía renovable y reducen la huella de carbono. Además que ayuda a impulsar economías más limpias que protejan el medio ambiente, mejoren el bienestar.</p>	<p>Adquisición: Una motobomba a combustible de ½ HP el precio ronda sobre los S/. 350.00 Soles, su costo es accesible debido al desuso y reemplazo, por otras tecnologías</p> <p>Operación: Para el funcionamiento de una motobomba se requiere el abastecimiento de combustible, sea el caso 1 Galón por el precio de S/. 18.49 este galón abastecer alrededor de 45 a 60 minutos de funcionamiento en bombeo continuó, para un año el costo sería S/. 887.52 para su operación.</p> <p>Mantenimiento: Las motobombas requieren un mantenimiento constante dependiendo a su uso continuo se puede realizar mensualmente, debido a que emplea diésel y combustible, donde debe estar en constante revisión y mantenimiento.</p> <p>Sostenibilidad: En caso de las motobombas al emplear derivados del petróleo para su funcionamiento genera una contaminación irreversible el medio que lo rodea, siendo desventajosa frente a aspectos ambientales.</p>

Nota. Autoría propia.

Tabla 12*Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa con bomba solar.*

VAN, TIR y flujo de caja para irrigación de alfalfa con bomba solar										
Rubros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. Inversión (S/.)	-3,311	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5
Sistema de bombeo solar (S/.)	-2,910	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5	-145.5
Sistema de irrigación (S/.)	-401									
II. Efecto neto (A-B) (S/.)		2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A. Ingresos incrementales		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
*Ingresos con proyecto	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750
Venta de alfalfa materia seca en (S/.) 6 veces/año	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750
*Ingresos sin proyecto	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Venta de alfalfa materia seca en (S/.) 2 veces/año	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
B. Egresos incrementales (S/.)		250	250	250	250	250	250	250	250	250
*Gastos operativos con proyecto (S/.)	600	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Costo de sembrío en (S/.) solo 1er año	350									
Cosecha mano de obra en (S/.) 4 veces/año	250	500	500	500	500	500	500	500	500	500
*Gastos operativos sin proyecto (S/.)	600	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Costo de sembrío en (S/.) solo 1er año	350									
Cosecha mano de obra en (S/.) 2 veces/año	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Flujo de caja nominal (I+II) (S/.)	-3,311	1,855	1,855	1,855	1,855	1,855	1,855	1,855	1,855	1,855
Flujo de caja acumulado (S/.)	-3,311	-1,457	398	2,253	4,107	5,962	7,816	9,671	11,525	13,380
VAN (S/.)	1,505.50									
TIR (%)	55									
Tasa de Interés Mínima (%)	15									

Nota. Autoría propia.

Tabla 13

Evaluación VAN y TIR del proyecto de irrigación de alfalfa con bomba diésel.

VAN, TIR y flujo de caja para irrigación de alfalfa con bomba diésel										
Rubros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. Inversión (S/.)	-1,738	-888	-888	-888	-888	-888	-888	-888	-888	-888
Sistema de bombeo solar (S/.)	-1,238	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5	-887.5
Sistema de irrigación (S/.)	-401									
II. Efecto neto (A-B) (S/.)		2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A. Ingresos incrementales		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
*Ingresos con proyecto	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750
Venta de alfalfa materia seca en (S/.) 6 veces/año	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750
*Ingresos sin proyecto	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Venta de alfalfa materia seca en (S/.) 2 veces/año	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
B. Egresos incrementales (S/.)		250	250	250	250	250	250	250	250	250
*Gastos operativos con proyecto (S/.)	600	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Costo de sembrío solo 1er año en (S/.)	350									
Cosecha mano de obra 4 veces/año en (S/.)	250	500	500	500	500	500	500	500	500	500
*Gastos operativos sin proyecto (S/.)	600	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Costo de sembrío solo 1er año en (S/.)	350									
Cosecha mano de obra 2 veces/año en (S/.)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Flujo de caja nominal (I+II) (S/.)	-1,738	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113
Flujo de caja acumulado (S/.)	-1,639	-527	586	1,699	2,811	3,924	5,036	6,149	7,261	8,374
VAN (S/.)	1,040.53									
TIR (%)	-36									
Tasa de Interés Mínima (%)	15									

Nota. Autoría propia.

3.9.3. Evaluación del caudal experimental de la bomba

Para determinar el caudal experimental en nuestro sistema se procede a abrir la válvula para dar inicio al bombeo con la ayuda de un balde y un cronometro, se activa la bomba, con el cronometro determinamos el tiempo t que se demora en llenarse el balde hasta una cierta altura o llenarse completamente H , analizado experimentalmente como se denota a continuación:



Figura 28. Evaluación experimental del caudal de las bombas solares.

Entonces, se al aplicar la fórmula para calcular el volumen del balde con la siguiente fórmula.

$$V = \pi * r^2 * H \quad (21)$$

$$V = 3.1415 * 15^2 * 37 = 26.15 L$$

Al dividir el volumen por el tiempo empleado en llegar a la altura H tenemos el Caudal.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{26.15 L}{45 s} = 34.866 L/min$$

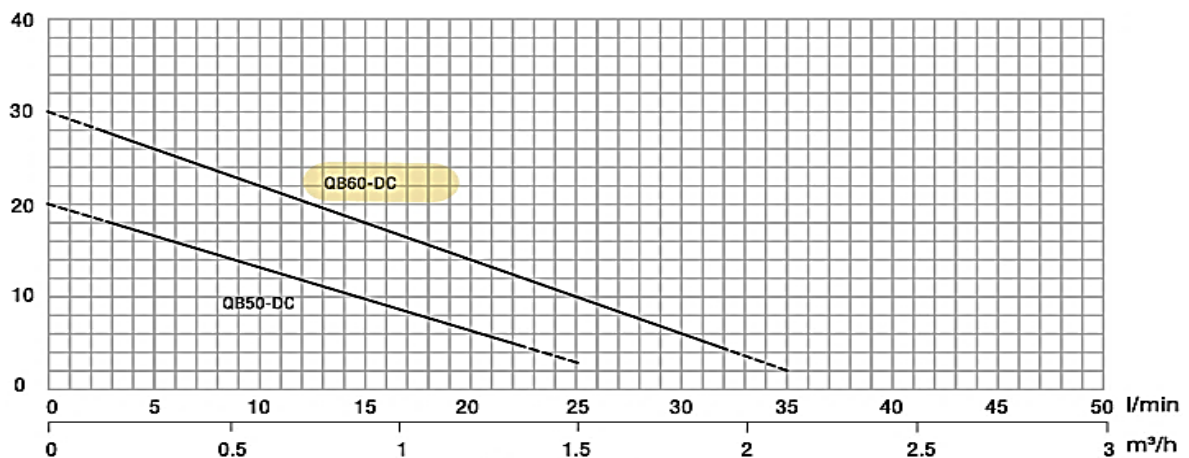


Figura 29. Curva de rendimiento de la bomba superficial (Taifu, 2023).

Para la bomba de superficie se realizó la medición experimental en donde se logró llenar completamente en un tiempo de 45 segundos, es decir que nuestra bomba superficial trabaja aproximadamente $2.09196 \text{ m}^3/h$.

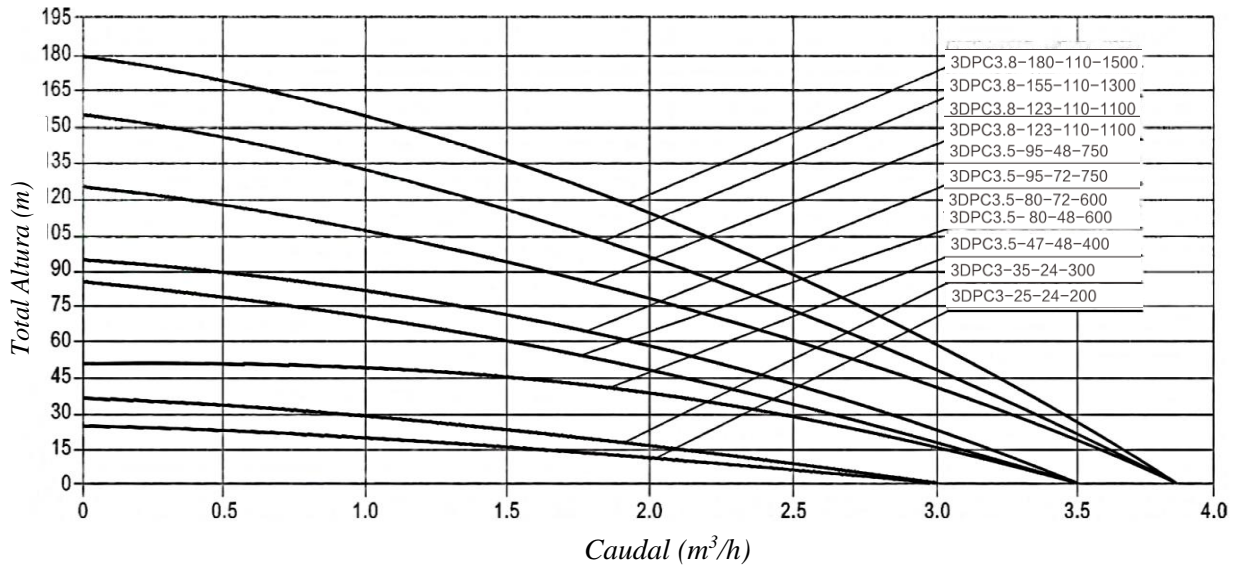


Figura 30. Curva de rendimiento de la bomba sumergible (Difull, 2023).

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{26.15 \text{ L}}{30 \text{ s}} = 0.8716 \text{ L/s}$$

$$Q = 52.296 \text{ L/min}$$

Para la bomba sumergible igualmente se realizó una medición experimental, donde se logró llenar completamente en un tiempo de 30 segundos, es decir que nuestra bomba sumergible trabaja aproximadamente a $3.13776 \text{ m}^3/h$.

Además de acuerdo al resultado de caudal obtenido observamos una diferencia, de la cual el punto máximo de caudal impulsado por la bomba sumergible es 52.296 L/min y en valores de presión de 23.5 Psi , por otro lado, para la bomba superficial solamente nos produce un caudal de 34.866 L/min y con valores de presión 17.5 Psi .

3.10. Operacionalización de variables

Tabla 14

Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente: El Riego			
Conceptualización de la variable	Dimensión	Indicadores	Unidad (Categoría)
Comprende en entregar agua al terreno aparentando la lluvia. Este efecto se logra comprimiendo el agua que fluye dentro sistema tuberías y empujándola hacia afuera mediante boquillas rociadoras.	Tipo tecnología	Sumergible o superficial	<i>[-]</i>
	Potencia de la bomba	Horse power	<i>[HP]</i>
	Calidad de agua para riego	Turbidez, pH y dureza	<i>[-]</i>
	Parámetros de riego	Etp, Eta, Lnr, Fr, Pms, Tr.	<i>[-]</i>

Tabla 15

Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente: Bombas Solares			
Conceptualización de la variable	Dimensión	Indicadores	Unidad (Categoría)
Disponen un reactor centrifugo de media y alta velocidad que guía al fluido a lo ancho de su eje y la impulsa de forma circunferencial. Este tipo de bombas se caracterizan por en su mayoría de superficie, en tanto las de tipo sumergible vienen completamente selladas con mayor efectividad para transportar el fluido según la capacidad de diseño.	Rendimiento de la bomba	Presión	<i>[Psi]</i>
		Caudal	<i>[L/min]</i>
	Condición del recurso solar	Irradiación	<i>[Wh/m²]</i>
	Condiciones del recurso hídrico	Agua blanda, ácida, turbia, alcalina, pura.	<i>[-]</i>
	Parámetro técnico - económico	VAN, TIR y Payback	<i>[+ ó -]</i>

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Generalidades

El estudio realizado comprende un sistema de generación fotovoltaico, con la instalación de dos módulos fotovoltaicos de 265Wp, las cuales son los encargados de abastecer de energía eléctrica continua mediante el efecto fotovoltaico, parte fundamental del estudio se instalaron dos bombas solares de diferente tecnología una de tipo sumergible y la otra de superficial, las cuales son encargados de bombear agua hasta cada aspersor para de esta forma irrigar el cultivo de alfalfa, donde se empleó manómetros bourdon una en la parte inicial y la otra en la final antes de interceptar al tercer aspersor, con el fin de obtener datos de presión al igual que el caudal que pudiera bombear cada tipo de bomba, luego los datos son adquiridos durante la evaluación puesto en funcionamiento real se recolectaron los datos que son expresados en posterior por cada bomba, después se procesó los datos en Microsoft Excel, así mismo como parte fundamental de este estudio se realizó la estimación del VAN, TIR y Payback, para determinar la rentabilidad, con una estimación de diez años según la vida útil para las bombas solares.

4.2. Recurso solar en la zona.

En el análisis energético solar se destaca que la irradiación solar varía a lo largo del día según la posición del sol, por lo que es esencial posicionar adecuadamente los módulos fotovoltaicos. El estudio energético de la radiación solar para la ubicación de nuestro proyecto de investigación se basó en la data Nasa Power - Atlas Solar Global.

Se presenta el promedio diario de horas de sol por mes en la tabla 16, para el distrito de Santiago de Pupuja, Azángaro. Según los datos, en promedios julio es el mes con mayor irradiación en la zona alcanzando 269.18 kWh/m²/mes de forma mensual, por lo contrario, diciembre es el mes con menor irradiación, con 118.73 kWh/m²/mes.

Los valores de irradiación de la tabla 16, que representan la energía solar incidente, se obtuvieron promediando datos de un período de 4 años, utilizando información satelital de la plataforma Nasa Power Larc.

Tabla 16*Irradiación normal directa, obtenido de Nasa Power.*

Irradiación normal directa (kW-hr/m²/mes)					
Mes/Año	2020	2021	2022	2023	Promedio
Enero	116.95	121.42	111.33	148.29	124.4975
Febrero	116.6	121.24	117.24	138.76	123.46
Marzo	109.22	118.21	120.87	129.26	119.39
Abril	179.02	186.48	193.32	208.16	191.745
Mayo	230.96	209.52	260.44	196.28	224.3
Junio	243.31	239.49	244.13	295.19	255.53
Julio	273.8	262.84	253.42	286.66	269.18
Agosto	247.57	262.92	245.37	269.87	256.4325
Setiembre	184.22	204.7	250.86	242.87	220.6625
Octubre	177.35	239.52	272.91	199.13	222.2275
Noviembre	235.86	138.9	241.48	178.68	198.73
Diciembre	129.43	107.63	121.2	116.66	118.73

Nota. Extraído (Nasa, 2023)**4.3. Condiciones hídricas**

Para los resultados del análisis básico del agua de lluvia cosechada, se menciona lo siguiente, para la dureza se determinó como agua blanda, con mínimas cantidades de sales debido a su naturaleza proveniente de la lluvia con buena pureza. Para el factor pH con se evaluó con tiras de papel tornasol dando como resultado como se observa en la figura 31, lo cual indicaría un pH de rango 7, lo cual se deduce un pH neutro, y en la turbidez, no se presenta presencia de arcilla ni otras sustancias, dando como resultado agua limpia, debido al ser almacenado en un reservorio de concreto armado la acumulación de agua en temporadas de lluvia directamente de los techos de las viviendas sin contacto con factores externos, es así que se mantiene el recurso hídrico limpio. Si por el contrario indicaría un rango de pH inferior a 5 se deduciría como agua acida esto debido podría deducirse en otros lugares donde existe contaminación por minería a causa de ello viene la lluvia acida por efecto a la quema de combustibles fósiles de las diferentes industrias cercanas, repercutiendo así en la contaminación atmosférica.

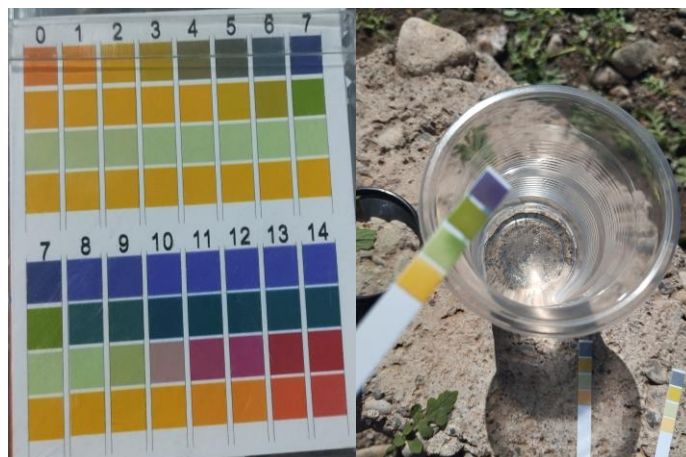


Figura 31. Resultado de coloración pH del análisis del recurso hídrico.

4.4. Resultados de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba superficial

Se presentan los resultados en función al objetivo principal y abarcando en relación a los específicos comprende la determinación del desempeño de cada bomba en presión de trabajo en función a la potencia a diferente hora con el empleo de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 17

Resumen de datos obtenidos del monitoreo de parámetros de la bomba superficial.

Resumen de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba superficial						
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Medición de Presión en (Psi)	
					1er. Manómetro	2do. Manómetro
22-Ene	09:10 a. m.	39	5.3	213	8	5
24-Ene	07:09 a. m.	39.8	2.8	121	OFF	OFF
26-Ene	01:35 p. m.	36.8	5.7	221	8.5	5
28-Ene	04:35 p. m.	36.7	3.6	140	7.5	5
30-Ene	08:49 a. m.	38.9	6.3	233	15.5	9.5
1-Feb	01:30 p. m.	39.9	6.5	259	9	6.5
3-Feb	01:22 p. m.	31.1	4.3	141	7.5	5
5-Feb	02:59 p. m.	40.8	7	287	14	9
7-Feb	03:55 p. m.	39.5	6.2	246	9	6.5
9-Feb	06:40 a. m.	42.3	2.6	115	OFF	OFF
11-Feb	04:29 p. m.	37.9	5.9	229	9	7

Continuación.

13-Feb	01:40 p. m.	39.9	6.7	264	13	9
15-Feb	10:29 a. m.	37.9	5.9	229	9	7
17-Feb	12:10 p. m.	39.2	6.5	263	10.5	8
19-Feb	01:25 p. m.	42.2	7.4	308	7.5	5
21-Feb	01:45 p. m.	42	7.3	263	16.5	10
23-Feb	01:35 p. m.	36.8	5.7	219	8	5.5
25-Feb	01:30 p. m.	39.9	6.5	259	14.5	10.5
27-Feb	01:20 p. m.	39.9	6.7	262	14.5	9.5
29-Feb	06:49 a. m.	42.5	2.7	122	OFF	OFF
2-Mar	08:19 a. m.	40.3	6.8	274	14.5	10.5
4-Mar	12:15 p. m.	40.5	6.8	289	15	11
6-Mar	02:25 p. m.	39.9	6.4	269	14.5	10
8-Mar	02:35 p. m.	37.9	5.9	220	9	7
10-Mar	06:35 a. m.	42.4	2.7	117	OFF	OFF
12-Mar	12:39 p. m.	40.7	6.8	285	11.5	6.5
14-Mar	12:50 p. m.	42.2	7.4	312	17.5	10.5
16-Mar	08:49 a. m.	41.9	6.9	302	14.5	9.5
18-Mar	01:37 p. m.	38.6	6.3	241	11	8
20-Mar	01:45 p. m.	38.8	6.4	247	11.5	8.5

4.4.1. Resumen en graficos de datos obtenidos para la bomba superficial

Se muestra en los gráficos posteriores los valores de presión obtenidos del primer y segundo manómetro de la bomba superficial en función a la potencia suministrada por los dos módulos fotovoltaicos dependientemente de la hora evaluada durante diferentes días. Para el primer manómetro en la evaluación de la bomba de superficie de ½ HP se observó un comportamiento diferente al como se observa en el grafico 32 del resumen, viendo así el pico más alto de presión de agua que puede llegar esta bomba es de 17.5 Psi a una potencia de 312 W dada por los módulos fotovoltaicos, al promediar de las 12:50 PM, también con el día con mucha irradiación, a cielo despejado, es así que con potencias de 287 W – 312 W por los modulos fotovoltaicos, se obtuvo de presiones dinámicas de 15.5 a 17.5 Psi, recalcando que dichos datos se obtuvieron en el punto inicial del sistema de bombeo.

4.5. Resultados para la bomba solar del tipo sumergible

Tabla 18

Resumen de datos obtenidos del monitoreo de parámetros de la bomba sumergible.

Resumen de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba sumergible						
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Medición de Presión en (Psi)	
					1er. Manómetro	2do. Manómetro
22-Ene	09:15 a. m.	39	5.3	213	9.5	6.5
24-Ene	07:00 a. m.	39.8	2.8	121	8	5
26-Ene	10:31 a. m.	38.6	6.3	253	15	12
28-Ene	04:25 p. m.	34.6	3.8	134	10	8
30-Ene	08:30 a. m.	36.9	6.5	220	14	11.5
1-Feb	02:00 p. m.	39.3	6.5	258	13	8
3-Feb	03:20 p. m.	35.6	4	146	9	7
5-Feb	02:50 p. m.	40.8	7	287	13	10
7-Feb	03:55 p. m.	39.5	6.2	246	12.5	9.5
9-Feb	06:45 a. m.	42.3	2.6	119	8	6
11-Feb	04:20 p. m.	39	6.3	246	11.5	9.5
13-Feb	01:35 p. m.	38.3	6.7	267	18.5	14
15-Feb	10:20 a. m.	40.9	6.9	283	19.5	15
17-Feb	12:26 p. m.	39.5	6.7	265	15	12
19-Feb	12:30 p. m.	41.9	7.5	310	23.5	17.5
21-Feb	01:50 p. m.	37.8	6.3	259	11	7.5
23-Feb	02:23 p. m.	34.8	6.8	270	14	9.5
25-Feb	01:51 p. m.	40	6.9	278	18.5	12.5
27-Feb	02:44 p. m.	39.9	6.9	276	19	15
29-Feb	06:45 a. m.	42.4	2.7	122	9	6
2-Mar	08:10 a. m.	40.4	6.8	278	15	10.5
4-Mar	12:56 p. m.	41.7	7.1	297	22.5	17.5
6-Mar	02:15 p. m.	40.5	6.7	274	16.5	13.5
8-Mar	02:39 p. m.	36.4	5.5	201	10	7.5

Continuación.

10-Mar	06:35 a. m.	42.4	2.7	117	9	6
12-Mar	12:35 p. m.	40.5	7	282	15.5	12
14-Mar	01:15 p. m.	42.2	7.4	312	23.5	18.5
16-Mar	08:42 a. m.	41.2	6.9	286	15.5	12.5
18-Mar	01:37 p. m.	38.8	6.5	254	18	14.5
20-Mar	01:45 p. m.	38.7	6.4	249	14.5	11.5

4.5.1. Resumen en graficos de datos obtenidos para la bomba sumergible.

Para la bomba sumergible se destacó la medición del primer manómetro al realizar la evaluación observamos que para la bomba sumergible de ½ HP, qué el pico más alto de presión de agua que puede llegar es 23.5 Psi a una potencia de 312 W dado por los módulos fotovoltaicos al promediar de las 01:15 PM, evaluado en un día totalmente despejado, se obtuvieron a potencias de 283 W – 312 W valores de presión de 22.5 a 23.5 Psi, con el manómetro, como es de conocimiento las horas de máxima irradiación solar se obtiene cuando el sol se encuentra en su punto máximo de elevación en horas del mediodía.

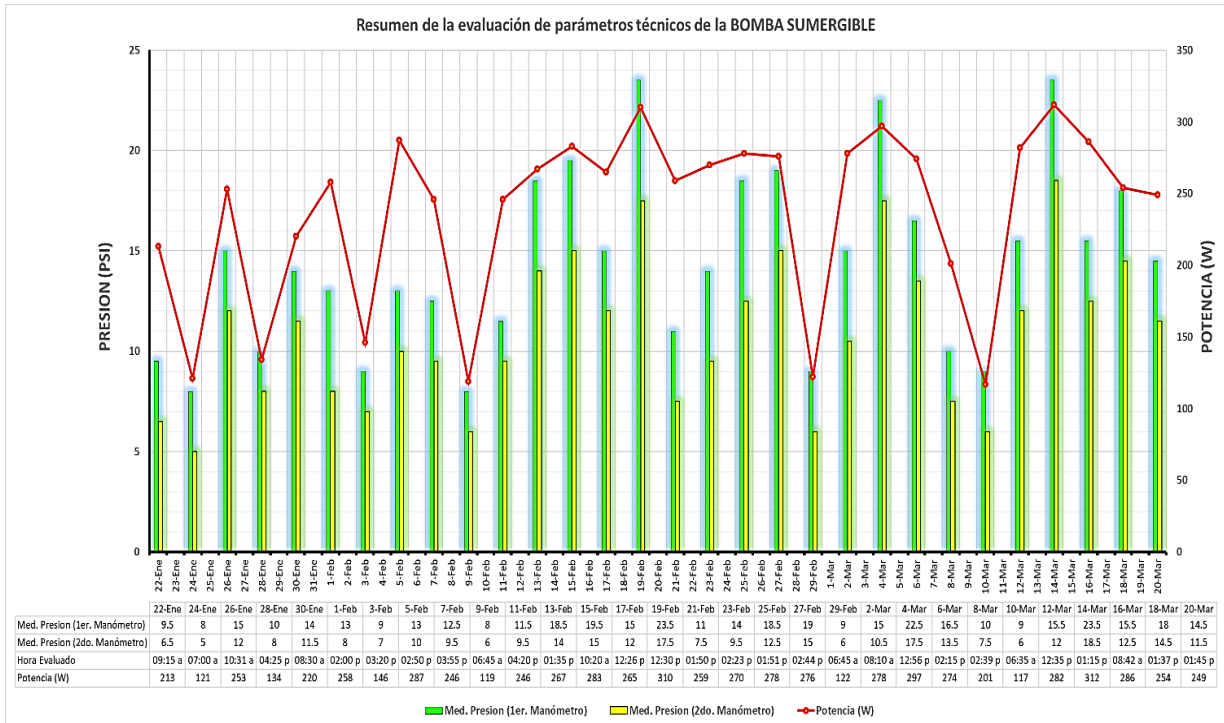


Figura 33. Resumen de la evaluación de parámetros técnicos de la bomba sumergible.

A si mismo se evaluó para bajas condiciones solares de irradiación sobre todo por las tardes a puestas de Sol, se observó del resumen estadístico para la bomba sumergible, que el pico más bajo en funcionamiento es 117 W dado por los paneles solares, obteniendo una presión de 9 Psi, esta evaluación se obtuvo a las 06:35 AM, día provisto totalmente despejado, es así que se obtuvieron valores de presión agua en promedio de 8 a 10 Psi, a potencias de 117 W – 134 W, brindada por los módulos fotovoltaicos, habiéndose evaluado por las mañanas y tardes donde la radiación solar es significativamente baja y ver su desempeño real frente a dichas condiciones.

4.5.2. Gráfico de la potencia con la presión de salida de la bomba sumergible y superficial

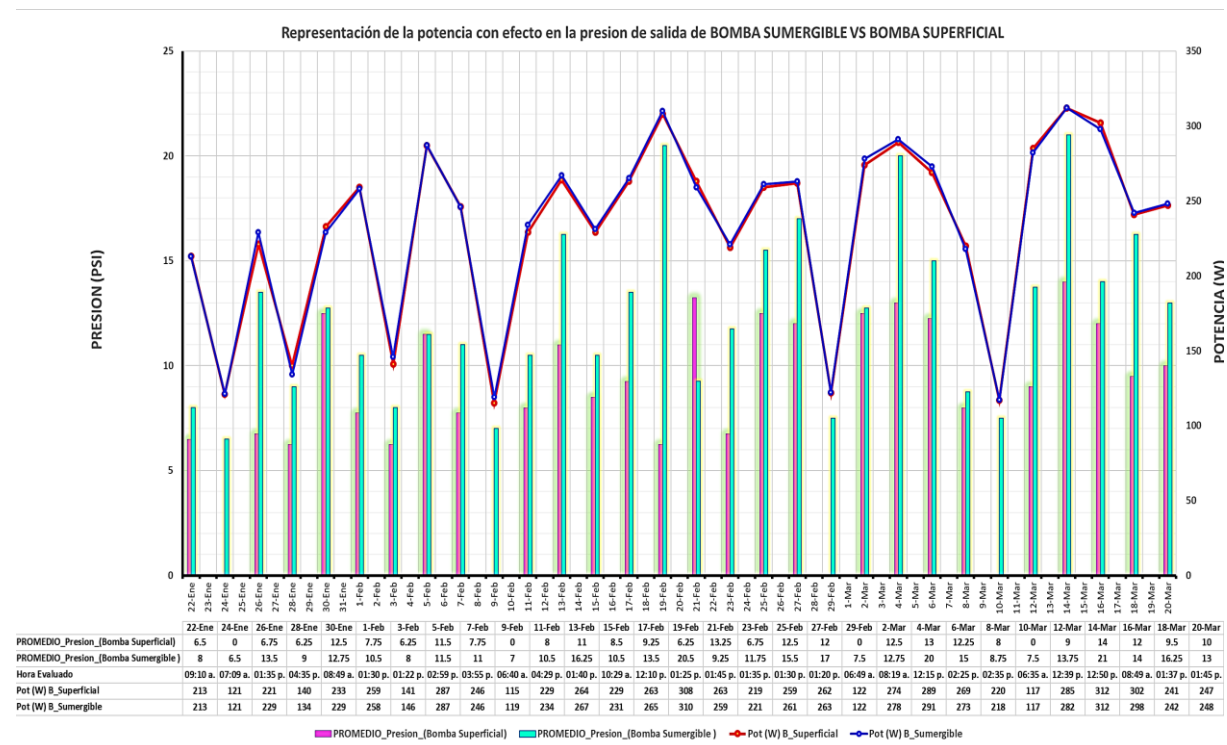


Figura 34. Gráfico de la potencia con efecto en la presión de salida de las bombas solares

Respecto a los gráficos mostrados básicamente definen, que la cantidad de radiación incidente tiene una influencia significativa en la potencia generada por los módulos fotovoltaicos instalados en el proyecto. Resultando así que, a mayor radiación solar, mayor es la potencia producida, por ende, las bombas solares generan mayor presión de trabajo a mismo también el caudal máximo. Esto presentan una correlación, lo que significa que cualquier variación en la radiación solar afecta al funcionamiento de las bombas solares, como se observó en los gráficos la variación de presión en función a los valores de potencia.

4.5.3. Resumen desempeño de caudal y presión de la bomba superficial

Tabla 19

Resumen desempeño en funcionamiento de la bomba superficial

Resumen desempeño de caudal y presión - bomba superficial					
Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Presión (Psi)	Caudal (L/min.)
08:00 a. m.	38.6	3.2	124	6	11.23
09:00 a. m.	38.8	4.5	175	8	17.32
10:00 a. m.	39.1	6.5	254	13.5	27.21
11:00 a. m.	41.3	7.1	293	16	29.89
12:00 p. m.	41.6	7.5	312	17.5	34.86
01:00 p. m.	41.8	7.2	301	15.5	33.24
02:00 p. m.	39.1	6.6	258	13	26.48
03:00 p. m.	38.8	5.6	217	9	19.78
04:00 p. m.	38.1	3.7	141	7	13.46
05:00 p. m.	37.5	2.7	101	4	9.26

Nota. Autoría propia

En el resumen de la tabla 19 se presenta el rendimiento de la bomba solar de superficie, estos datos fueron adquiridos el 19 de agosto del presente año durante todo el día desde las 08:00 a.m. hasta las 05:00 p.m. en función al recurso solar aprovechable en la zona de estudio.

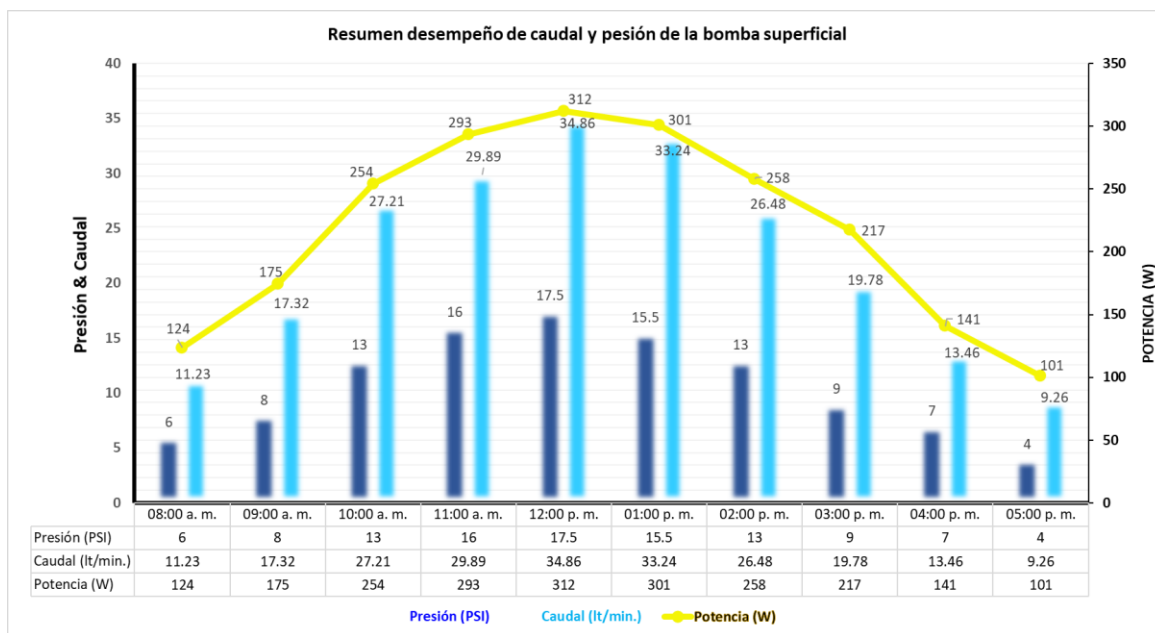


Figura 35. Resumen rendimiento de caudal y presión de la bomba superficial

4.5.4. Resumen desempeño de caudal y presión de la bomba sumergible

Tabla 20

Resumen desempeño en funcionamiento de la bomba sumergible

Resumen desempeño de caudal y presión - bomba sumergible						
Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Presión (Psi)	Caudal (L/min.)	
08:00 a. m.	38.3	2.9	111	8.5	19.24	
09:00 a. m.	38.7	4.5	174	12.5	29.32	
10:00 a. m.	38.9	5.8	226	16.5	36.76	
11:00 a. m.	40.9	6.9	282	20.5	48.21	
12:00 p. m.	41.6	7.5	312	23.5	52.29	
01:00 p. m.	41.4	7.2	298	22.5	50.49	
02:00 p. m.	39.3	6.7	263	18.5	44.12	
03:00 p. m.	38.8	5.6	217	14.5	34.26	
04:00 p. m.	38.3	3.8	146	10.5	25.15	
05:00 p. m.	37.5	2.7	101	6.5	16.82	

Nota. Autoría propia

En el resumen de la tabla 20 se presenta el rendimiento de la bomba solar sumergible, cuyos datos fueron obtenidos el 20 de agosto desde las 08:00 a.m. a 05:00 p.m. en función a la potencia aprovechable por los módulos fotovoltaicos, así mismo se ha tabulado en función a los gráficos anteriores con la experimentación en la zona de estudio.

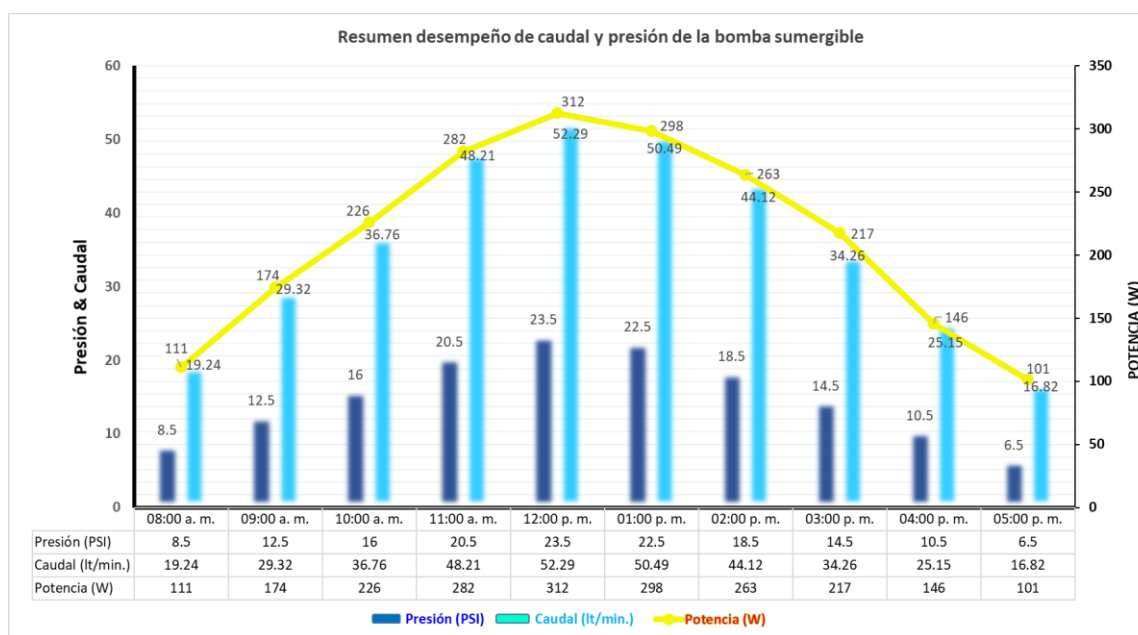


Figura 36. Resumen rendimiento de caudal y presión de la bomba sumergible

Entonces de los gráficos 35 y 36 se menciona que a mayor radiación solar mayor es la potencia producida por los módulos, estos parámetros presentan una correlación, lo que significa que cualquier variación en la incidencia solar afecta al funcionamiento de las bombas solares.

Tabla 21

Valor promedio de presión y caudal de los gráficos de desempeño de las bombas.

Promedio	Bomba superficial	Bomba sumergible
Caudal (L/min)	22.27 L/min	35.66 L/min
Presión (Psi)	10.95 Psi	15.4 Psi

Nota. Autoría propia

Finalmente, en la tabla 21 se presenta el valor promedio de caudal y presión para cada bomba solar. Además de acuerdo a la presión y caudal se denota una diferencia, entonces el punto máximo de caudal impulsado por la bomba sumergible es 52.296 L/min y en valores de presión de 23.5 Psi, por otro lado, para la bomba superficial solamente nos produce un caudal de 34.866 L/min y con valores de presión 17.5 Psi.

4.6. Resultados de la evaluación económica

Para nuestro estudio implementado con bombas solar con una estimación de 10 años se obtuvo una VAN $S/1,505.50 > 0$ y una TIR del 55% $> 15\%$, con estos valores podemos definir que con la implementación de un sistema con bombas solares es rentable económicamente.

Tabla 22

Periodo recuperación del Capital (Payback).

Periodo recuperación del capital	
Periodo Ultimo F.C. Acumulado Negativo	1
Absoluto Ultimo F:C. Acumulado Negativo	1456.5
F.C. Neto Siguiete Periodo	1,855
PRI	1.785387
PBP = 01 año con 09 meses y 12 días	

Nota. Autoría propia

Finalmente, para el payback se realizó mediante el Excel aplicando la formulación número 22 de la metodología, entonces como resultado se expresa a 01 año con 09 meses y 12 días de periodo de recuperación del Capital (PBP), para el estudio desarrollado de bombeo solar para la irrigación de alfalfa en el anexo Tuturcuayo del distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro.

4.7. Discusión

- Respecto a una evaluación económica frente a otros estudios tal como es la de Ocampo quien realizó la viabilidad técnica en su proyecto de bombeo de agua empleando energía solar, con el equipamiento de 32 módulos fotovoltaicos de 330Wp, una bomba sumergible Lorentz PSK2, y controladores 192V/60A con regulador de carga solar MPPT, en adición a todo el sistema determinó una inversión de S/. 328,469.04 en consecuencia obtuvo una VAN de S/167,362.72 > 0 y con una TIR de 22% > 15%, en base a una tasa de 15%, entonces el autor determinó que dicho proyecto es rentable a un largo debido que realizó una gran inversión a la magnitud de su proyecto, por otra parte en nuestro estudio de menor escala también implementado con bombas solares se obtuvo una VAN S/1,505.50 > 0 y una TIR del 55% > 15%, correspondiente a la tasa, entonces frente a esta otra investigación se detalla que ambas investigaciones generan rentabilidad ya sea largo plazo o a corto plazo dependiente si el proyecto es grande o pequeño en ambos sentidos al emplear bombas solares se genera ganancias económicas.
- En la investigación realizada por Asmat en Yaurisque observó que la radiación solar en horas pico, durante el periodo de medición en campo, varió entre 1 002.048 W/m² y 1 036.476 W/m². Esto resultó en una energía solar que oscila entre 4.01 y 5.18 kWh/m² por día, entonces se realiza un promedio para un mes 160.58 kWh/m²/mes. Con respecto a los datos obtenidos en nuestra investigación en nuestra zona alcanza valores de 269.18 kWh/m²/mes, en ese sentido se cuenta mayor radiación solar que en Yaurisque Cusco. En condiciones de baja irradiación, por las mañanas o por la tarde, la bomba sumergible mostró una disminución significativa en su rendimiento, con el punto más bajo de presión de agua registrado a las 06:35 a.m. con una potencia solar de 117W suministrado de los paneles, obteniendo una presión de 9 Psi. Estos resultados resaltan la influencia directa de la radiación solar en el rendimiento de la bomba sumergible, mostrando una clara correlación entre la potencia solar recibida y la presión de agua generada.
- Por cuanto al beneficio del uso de una irrigación mediante el bombeo fotovoltaico en la adopción de riego a un cultivo en el estudio realizado del autor Asmat llegó a la conclusión que la adopción de riego solar fotovoltaico tiene un impacto directo en la

producción agrícola. Al garantizar un suministro constante y fiable de agua para riego, las familias agrícolas pueden mejorar la productividad y calidad de sus cultivos, esto es particularmente crucial en regiones donde un cultivo determinado depende en gran proporción de la temporada de lluvias.

- En el estudio de Dávalos determina factores importantes que repercuten en una investigación la cual indica que el bombeo solar emerge como una opción más sostenible y económicamente viable a largo plazo, especialmente en lugares con mayor altitud como es en nuestra investigación a 3925 msnm donde es mayor la radiación solar. Sin embargo, las bombas diésel aún pueden ser la opción preferida convencional en situaciones donde se requiere una alta fiabilidad, pero están generando un daño ambiental puede ser empleado como un caso de emergencia en donde la infraestructura necesaria para el bombeo solar no está disponible.
- Adicionalmente en el proyecto de Ocampos hacen uso una bomba sumergible como es nuestro caso corroborando la eficiencia y mayor durabilidad de esta tecnología, así mismo en dicho proyecto también emplean un controlador de carga solar MPPT, la ventaja radica en que los controladores MPPT pueden ajustar tanto el voltaje como la corriente de salida para asegurar que el panel solar opere en su punto óptimo de potencia máxima. Adquirir una bomba solar con regulador de carga PWM puede ser considerado una opción válida, dado su costo más accesible, a pesar de su menor eficiencia en comparación con las bombas equipadas con controladores MPPT, que suelen ser más costosas. En nuestra investigación se había denotado como mayor eficiente, en tal sentido sería contrastado por este otro autor con la mayor empleabilidad, finalmente respecto a este otro proyecto se determina que la implementación de proyectos con bombas solares es viable independiente de la magnitud del proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los resultados obtenidos con respecto al objetivo general, abarcando la potencia, voltaje y corriente como aspectos técnicos influyentes en el desempeño de cada bomba se concluye que la bomba sumergible posee un mejor desempeño continuo ya que exhibió un rendimiento óptimo en base a los resultados de la tabla 21, el valor promedio de caudal para la bomba superficial es 22.27 L/min y para la presión el valor promedio es 10.95 Psi, en cambio para la bomba sumergible el valor promedio de caudal es 35.66 L/min y el valor promedio de presión es 15.4 Psi, estos valores promedios pueden definir que la bomba sumergible trabaja a un mejor desempeño y mejor productividad frente a una aplicación de riego de alfalfa, además durante días con alta irradiación, en donde se observó una potencia aprovechable por los módulos fotovoltaicos de 312W, con un voltaje de 41.6V y una corriente de 7.5A, como se observa el gráfico 35 de los resultados, alcanzando su punto máximo de presión valores entre 22.5 y 23.5 Psi dado en las horas de mayor irradiación solar que es al mediodía, para cuyo valor se obtuvo a las 12.50 pm con la potencia suministrada por los módulos fotovoltaicos, frente a la bomba superficial que solamente al valor más alto de presión que llegó es de 17.5 Psi a con una misma potencia de 312W, aprovechable por los dos módulos fotovoltaicos. Por otro lado, uno de los factores influyentes técnicamente es el tipo de controlador que integra cada bomba, lo que significa que cualquier variación en la radiación solar afecta al funcionamiento de las bombas solares, como se observó en el gráfico 34 la variación de presión y caudal en función a los valores variantes de potencia en función a la cantidad de radiación incidente en los módulos fotovoltaicos.
- La caracterización de las condiciones solares de la zona, con las bombas solares durante enero, febrero y marzo se analizó que la radiación solar incidente en el lugar es aprovechable, ya que se encuentra a una altitud de 3925 msnm, como se sabe que a una mayor altitud la radiación solar es mayor de tal forma es beneficioso para implementar proyectos similares de riego solar directo, del mismo modo se recopiló datos de la Nasa

Power Larc y Atlas Solar Global, donde se recopiló datos de irradiación mensual por año, donde se aprecia en la tabla 13 de los resultados que julio es el mes con mayor irradiación con 269.18 kWh/m²/mes, por el contrario diciembre es el mes con menor irradiación, con 118.73 kWh/m²/mes. Estos valores de irradiación, que representan la energía solar incidente, se obtuvieron promediando datos diarios donde posteriormente se analizó los datos de forma mensual en el software Excel promediando así de los últimos 4 años atrás existentes en la base de datos de la plataforma Satelital Nasa Power Larc. Por otra parte, frente a la discusión frente al trabajo realizado en Yaurisque, con una estimación en irradiación promedio de 160.58 kWh/m²/mes. Para nuestro en nuestra zona alcanza valores de 269.18 kWh/m²/mes, en ese sentido se define que para Santiago de Pupuja – Azángaro con una altitud de 3925 msnm se cuenta con mayor radiación solar que en Yaurisque Cusco, con una altitud 3,330 msnm.

- Al analizar las condiciones básicas del recurso hídrico, en la dureza se concluyó por agua blanda, ya que no está expuesto en contacto con minerales como son las aguas subterráneas siendo en este caso agua de lluvia donde en la sierra no hay factores que puedan alterar su pureza. Al evaluar el pH con tiras de papel tornasol se introdujo en una muestra de agua, se denoto un cambio a color asimilativo piel indicando un rango 7 de pH, lo cual se deduce pH neutro, lo cual resulta favorable para el cultivo, al no existir acidez en el recurso hídrico. Para la turbidez, se observó que no se presenta presencia de arcilla ni otras sustancias, ya que, al ser recaudado en un reservorio de concreto, sin contacto con factores externos que pudieran contaminar con partículas de polvo u otras sustancias, es así que define como agua de buena pureza.
- Respecto a la caracterización económica frente a una tecnología alternativa, para la irrigación agrícola, como es el uso de una bomba diésel se obtuvo una VAN de -S/ 1,040.53 y una TIR de -36%, indicándonos que el uso de bombas diésel no es viable generándonos pérdidas a largo plazo. Para nuestro estudio implementado con bombas solar con una estimación de 10 años se obtuvo una VAN S/1,505.50 > 0 y una TIR del 55% > 15%, así mismo se realizó la estimación del periodo de recuperación del capital a 01 año con 09 meses y 12 días, con estos valores podemos confirmar que con la implementación de un sistema con bombas solares es viable y rentable económicamente.

Adicionalmente la interpretación técnica de las características de las bombas solares es un tanto prescindible ya que tanto la bomba sumergible Diffull importada, como la bomba superficial QB60-DC, importada por Sumac Inti mantienen los patrones de rendimiento especificados por sus fabricantes, comprobado experimentalmente en base al caudal suministrado y altura de trabajo, evaluado a una altura de dos metros, donde se observa que para la bomba de superficie proporciona un caudal experimental de 2.0919 m³/h. y la bomba sumergible proporciona un caudal experimental de 3.1377 m³/h. dichos valores se aproximan a los patrones de rendimiento de cada bomba como se observa en los gráficos 35 y 36. Frente a los factores técnicos evaluados en base al punto máximo de caudal impulsado por la bomba sumergible a 52.296 L/min y en valores de presión de 23.5 Psi por otro lado para la bomba superficial solamente nos genera un caudal de 34.866 L/min y con valores de presión 17.5 Psi. Otro factor influyente son los controladores que pueda poseer cada tipo de tecnología, un controlador MPPT tienen la capacidad de aprovechar más de energía proveniente de un panel solar en comparación con los controladores PWM, y al integrar la bomba sumergible un controlador MPPT justifica su costo al emplear una electrónica avanzada y algoritmos sofisticados para monitorear de manera constante la salida de energía máxima de los paneles solares ya que esto contribuye a maximizar la producción de energía.

5.2. Recomendaciones

- Esta investigación representa un avance significativo hacia la posibilidad de que el gobierno regional impulse más proyectos de riego tecnificado con bombas solares, alimentados por paneles fotovoltaicos en beneficio de las comunidades alto andinas de nuestra región Puno.
- Para incrementar la efectividad operativa de las bombas solares los módulos fotovoltaicos requieren ser limpiados por lo menos una vez por cada mes con el fin de mejorar la captación de la radiación solar.
- Se recomienda implementar más bombas solares para la irrigación de alfalfa ya que esta requiere un riego más constante durante el año, que se evaluaron ofrecen la posibilidad de un riego más eficiente y controlado, lo que puede llevar a una mejor distribución del

agua en el campo y una utilización más óptima de los recursos hídricos disponibles. Esto puede resultar en un crecimiento más uniforme de la alfalfa, una mayor resistencia a condiciones adversas y una producción más consistente a lo largo del tiempo. Además, el uso de bombas solares para el riego proporciona una mayor flexibilidad en la gestión del agua, permitiendo adaptarse mejor a las condiciones climáticas y las necesidades específicas de cada parcela, esto puede traducirse en una mayor capacidad para enfrentar períodos de sequía, así como para optimizar los ciclos de riego según las etapas de crecimiento de la alfalfa.

- Así como esta investigación realizada se puede impulsar a otros pobladores a implementar riego con bombas solares puede ser una estrategia efectiva para aumentar la producción de alfalfa, reducir los costos operativos y promover prácticas en un mayor uso de bombas solares con el fin de lograr una mayor sostenibilidad.
- Se recomienda implementar el uso de bombas solares del tipo sumergible o bombas de superficie que cuenten con controladores MPPT, para sacar mayor provecho de producción, ya que la región de Puno posee con un enorme potencial solar en virtud a su privilegiada localización geográfica, este enfoque resulta la alternativa sostenible y eco-amigable en comparación con los sistemas de bombeo tradicionales, lo que puede contribuir significativamente a la economía de los pobladores de nuestra región.

Referencias Bibliográficas

- Anten, M., & Willet, H. (2000). *Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera*. Cajamarca: Willens.
- Acebedo, E. (2006). *Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas*. Facultad de Agronomía, Universidad - Chile, Chile.
- Albujar, M. (2019). *Energía ST*. Madrid: instituto para la diversificación y ahorro de la energía.
- Alonso, M. &. (2014). Sistema de Bombeo Fotovoltaico. *Energy FT*, 102-103.
- Antunez, A., & Felmer, S. (2020). *Eficiencia de riego en sistemas localizados*. Lima: INIA.
- Arhuire, I., & H. L. (2020). *Caracterización de la radiación solar en Puno para el diseño de un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas*. Puno, Perú.: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arija, D. (2018). *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo de tecnologías apropiadas*. Madrid.
- Asmat, C. P. (2018). *Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de Yaurisque-Cusco*. Cusco.
- Auccacusi, M. (2018). *Análisis técnico económico para la selección de una bomba*. Piura.: Enciclopeds.
- Chang, L. (2002). *"El riego"*. Lima: Trillas.
- Chenlo, A. (2019). *Sistemas Bombeo Fotovoltaico*. España: Energías Renovables-Ciemat.
- Condori, J. (2013). Riego por Aspersión. *Headlord's*, 68-70.
- Contreras, F. (2011). *Diseño y manejo de riego presurizado*. Chile: INTIHUASI.
- Corilla, D. R. (2014). *Diseño de una planta solar fotovoltaica de 200KW conectado a la red de MT en el departamento de Ica*. Lima - Perú.

- Davalos, J. P. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaen – Cajamarca. Universidad Nacional de Jaén. Cajamarca.*
- Espinoza, J. (2021). *Diseño de sistema fotovoltaico off-grid, Red secundaria y conexiones Domiciliarias para suministro eléctrico al caserío Tallapampa, distrito salas, Provincia Lambayeque. Lambayeque: USS.*
- Felipe, V., & Santos, S. P. (2018). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología.*
- Fernandez, P. (2019). Bombeo Solar . *PONCE ADS*, 29-30.
- Feyzi, D. (2018). *Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: Modeling and techno-economic optimization. Applied Energy.*
- Fuentes, J. (2003). *Técnicas de riego* (Cuarta ed.). Madrid - España: Mundi-prensa.
- García Calopiña, L. F. (2021). *Propuesta de un sistema de riego por inundación. Piura: Proyecto Concytec.*
- Godoy, E. (2016). *Diseño de sistema de regadío en zona rural con energía solar. Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción.*
- Hernández, R. &. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa. España: Metodología de la investigación.*
- Herrera, A. (2016). Problemas Energeticos. *Piudencia SR*, 86-87.
- Hidalgo, Y. G. (2015). Calidad de agua con fine de riego . *Ojeando la agenda.*
- Jones, I. O. (2016). *Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture. Desalination.*

- Kolstad, C. (18 de Mayo de 2021). *TAMESON*. Obtenido de Tameson B.V.: <https://tameson.es/pages/manometro-de-agua>
- Luna, A. (19 de 12 de 2022). *Aragcu*. Obtenido de <https://www.aragcu.com/product/cinta-teflon-premium-x-0-075mm-x-10mts-metusa>
- Melo , A., Olaya, N. S., & Silva, J. D. (2022). Diseño de un sistema de riego con bombeo solar fotovoltaico para un cultivo de palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa (Meta). *ACOFI*.
- Méndez, J. (2019). *Energía Solar Térmica*. España: Fundación Confermotal.
- Miranda, C. J. (2023). *Diseño de un sistema de riego solar fotovoltaico para bombeo de agua. caso: Comunidad de Pajchani Grande Provincia Omasuyos Departamento de La Paz*. La Paz.
- Palacios, A. y. (2007). Calidad de agua para riego agrícola. *fun prover*, 8-16. Recuperado el 24 de Setiembre de 2023, de <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Calidad%de%agua%20para%20riego%agrícola.pdf>
- Perú económico. (2006). *Los retos energéticos del Perú*. (Vol. XXIX). Lima: Perú económico.
- Revilla, F. (2000). *Riego por Aspersión* . Madrid: Valladolid INEA. Recuperado el 17 de 09 de 2023
- Reyes, I. A. (26 de 09 de 2023). *Diplas*. Obtenido de <https://www.diplas.cl/products/manometro-glicerina-0-10>
- Royndan, E. (2016). *Diseño de un sistema de riego para el cultivo de alfalfa en la localidad de Cotaparaco, region Ancash*. Áncash: Unsam.
- Suarez, G. (2012). *Calidad de agua para riego*. Colombia: Boletín didáctico .
- Suzane, M. (2019). *Design System Water*. Rio Grando do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Taifu. (2023). *AutoSolar Colombia*. Recuperado el 18 de 12 de 2023, de AutoSolar.Co:
<https://autosolar.co/bombas-de-agua-superficie/electrobomba-solar-qb60-dc>

Tarjuelo, M. B. (1999). *El riego por aspersión y su tecnología*. México: Mundi Prensa.

Tito, W. (2011). Influencia Social de la energía renovable. *Coadviwers*, 88-89.

Vegas, W. (2019). Bombas De Agua. *Energy PE*, 55-56.

Weidemann, M. (2010). *Advanced LED Warning Signs for Rural Intersections Powered by Renewable Energy. Local road research board*. Obtenido de
<https://www.lrrb.org/pdf/201104.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Instalación de las bombas solares, módulos fotovoltaicos, manómetros y aspersores.

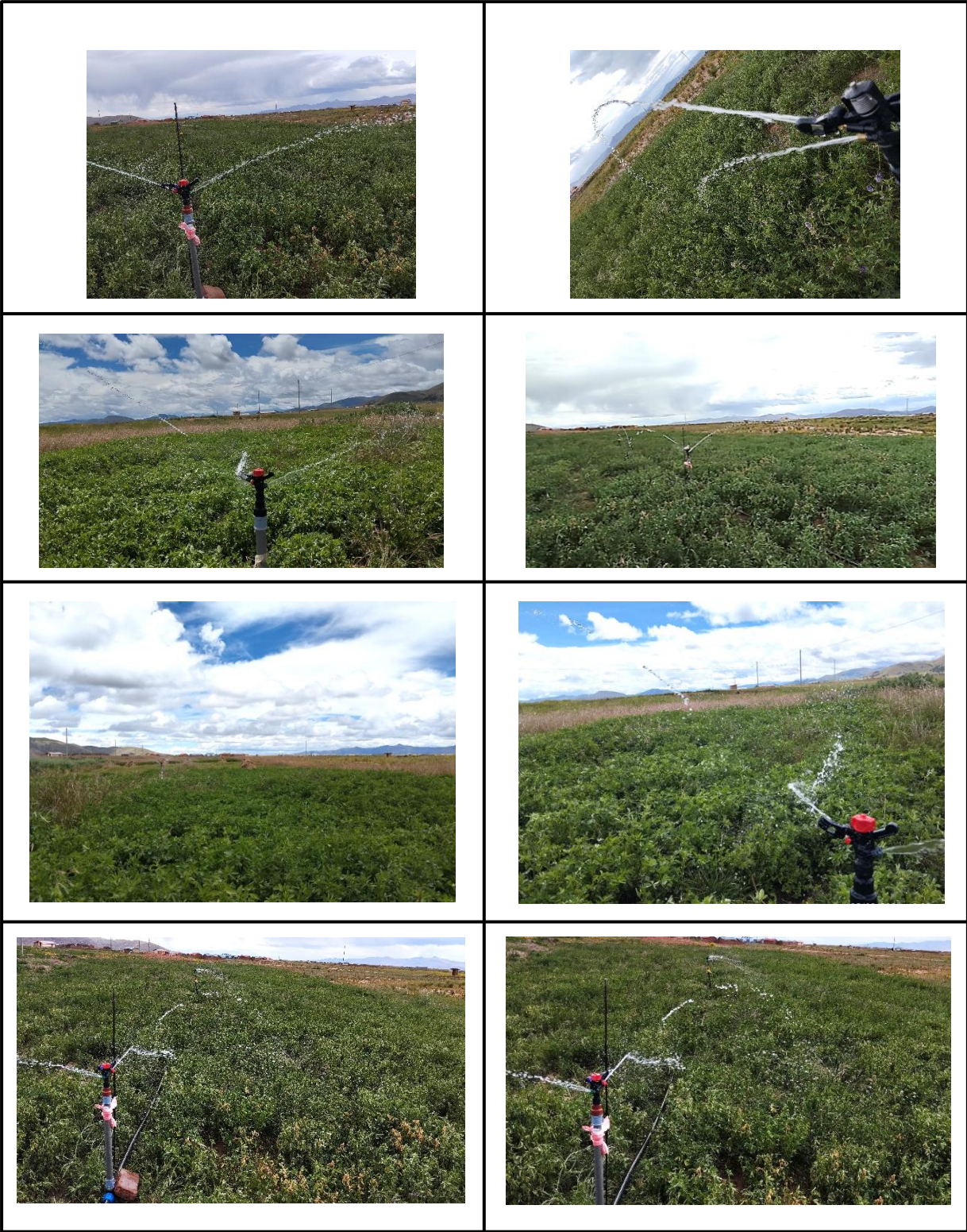


Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Monitoreo de parámetros técnicos de las bombas solares y medición con los manómetros.



Anexo 3. Aplicación de riego por aspersión con el proyecto concluido en el anexo de Tuturcuyo.



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4. Factor de evapotranspiración potencial (mf) en mm por mes

Lat. Sur	MESES											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
14	2.68	2.31	2.34	1.95	1.73	1.53	1.64	1.89	2.14	2.49	2.54	2.7
15	2.7	2.32	2.33	2.93	1.7	1.5	1.61	1.86	2.13	2.49	2.56	2.73
16	2.73	2.33	2.31	1.91	1.66	1.46	1.57	1.83	2.11	2.50	2.58	2.76
17	2.76	2.34	2.31	1.89	1.63	1.42	1.54	1.80	2.10	2.50	2.31	2.79

Fuente: Extraído (Tarjuelo, 2005).

Anexo 5. Eficiencia de aplicación para diferentes sistemas de riego

Sistema de irrigación	Eficiencia (%)
Irrigación por inundación permanente	30 – 40
Irrigación por surcos	50 – 70
Irrigación por inundación	60 – 80
Irrigación por aspersión	65 – 85
Irrigación por goteo	75 – 90

Fuente: Extraído (Tarjuelo, 2005).

Anexo 6. Características hídricas promedios de los grupos de suelos

Grupo Suelos	Unidad de riego	Unidad suelo	Horizonte cm.	Textura	C.C. en %	P:M.P %	D.a.
I	R1	CP, QUE y Lla	0-26	FA a FArA	13.68	7.33	1.25
			26-45	FA a Far	19.89	10.3	1.34
			45-90	FA a FarA	16.28	7.78	1.45
II	R2	RI,AM, PA, UCH y SA	0-20	FA a FArL	30.62	14.63	1.2
			20-45	FA a Far	32.1	15.82	1.28
			45-90	FA a Far	30.7	15.21	1.28

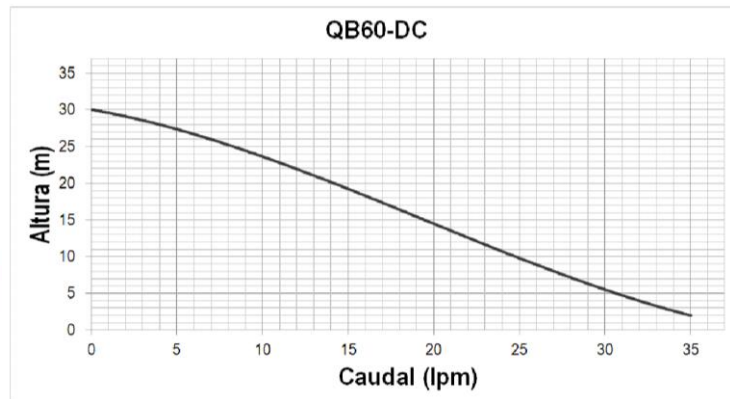
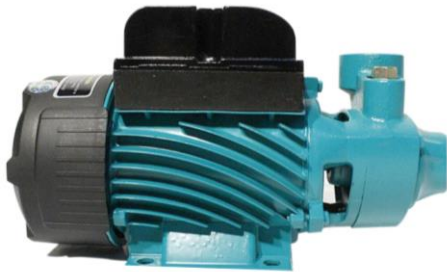
Fuente: Extraído (Vilca, 2021).

Anexo 7. Lista de precios para egresos de alfalfa agrícola en la zona

Productos Agrícolas	Ton/has	Kg/ha	Por 2.5ha (kg)	Precio por Unidad	Nº de cosechas al año	Monto Total
Avena Ensilado	16.3	16300	40750	0.6	1	24450
Alfalfa verde	14.4	14400	36000	1.2	2	86400
Alfalfa Seca	5.2	5200	13000	0.8	2	20800
Alfalfa ensilada	10.4	10400	26000	0.9	2	46800

Fuente: Extraído (Vilca, 2021).

Anexo 8. Ficha de curva rendimiento de la bomba solar QB60-DC



Electrobomba solar de superficie, permite la conexión directa mediante los paneles solares o baterías, incluye:

- Manual de garantía
- Manual de operatividad
- Manual de mantenimiento en español

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Descripción	ELECTROBOMBA SOLAR TECNIGREEN FOTOVOLTAICO POTENCIA 370W VOLTAJE 24VDC SUPERFICIAL CABEZA 30M
	Voltaje (VDC)	24
	Potencia (W)	370
	Tipo	Superficial
	Diámetro	1"
	Flujo máximo (lpm)	35
	Cabeza máxima (m)	30
	Salida	1"
	Controlador	PWM incluido en la electrobomba
	Configuración recomendada paneles	4*130, 2*200, 2*270, 1*540
	Caudal diario promedio (l/día)	4800
	Potencia recomendada (Wp)	540
	Encerramiento IP	54
	Eficiencia Máx. a rpm Nominal	85.0%
	Clase de Aislamiento	F
	Temp Máx. del agua	45°C
Garantía	12 Meses	
Log.	Peso (kg)	6
	Dimensiones	
	Largo x Ancho x Alto (cm)	27 X 18 X 13

Fuente: Ficha técnica QB60-DC

Anexo 9. Ficha técnica aspersor Akona Fox.



AKONA
IRRIGATION SYSTEMS

Características



- Debido a los muelles de acero inoxidable de alta resistencia, posee una excelente rotación e irrigación incluso a bajas presiones (1,5 bares).
- Con arandelas de teflón duraderas para lograr un menor desgaste y mantener un alto rendimiento de rotación.
- Alto tiro de agua y dispersión uniforme con boquillas codificadas por colores y finamente diseñadas. Sus boquillas de enchufe y desenchufe son prácticas, y fáciles de cambiar o limpiar.
- Alta resistencia a los rayos UV.
- Larga vida útil.
- Radio de 12-16 metros. Círculo completo de 24-32 metros.
- Caudal de 1200-2500lt/h.
- Adaptador rosca macho con un diámetro de conexión de 3/4".
- Para un ahorro máximo de energía y una dispersión uniforme del agua, la presión de trabajo sugerida es de 2 a 3 bares.

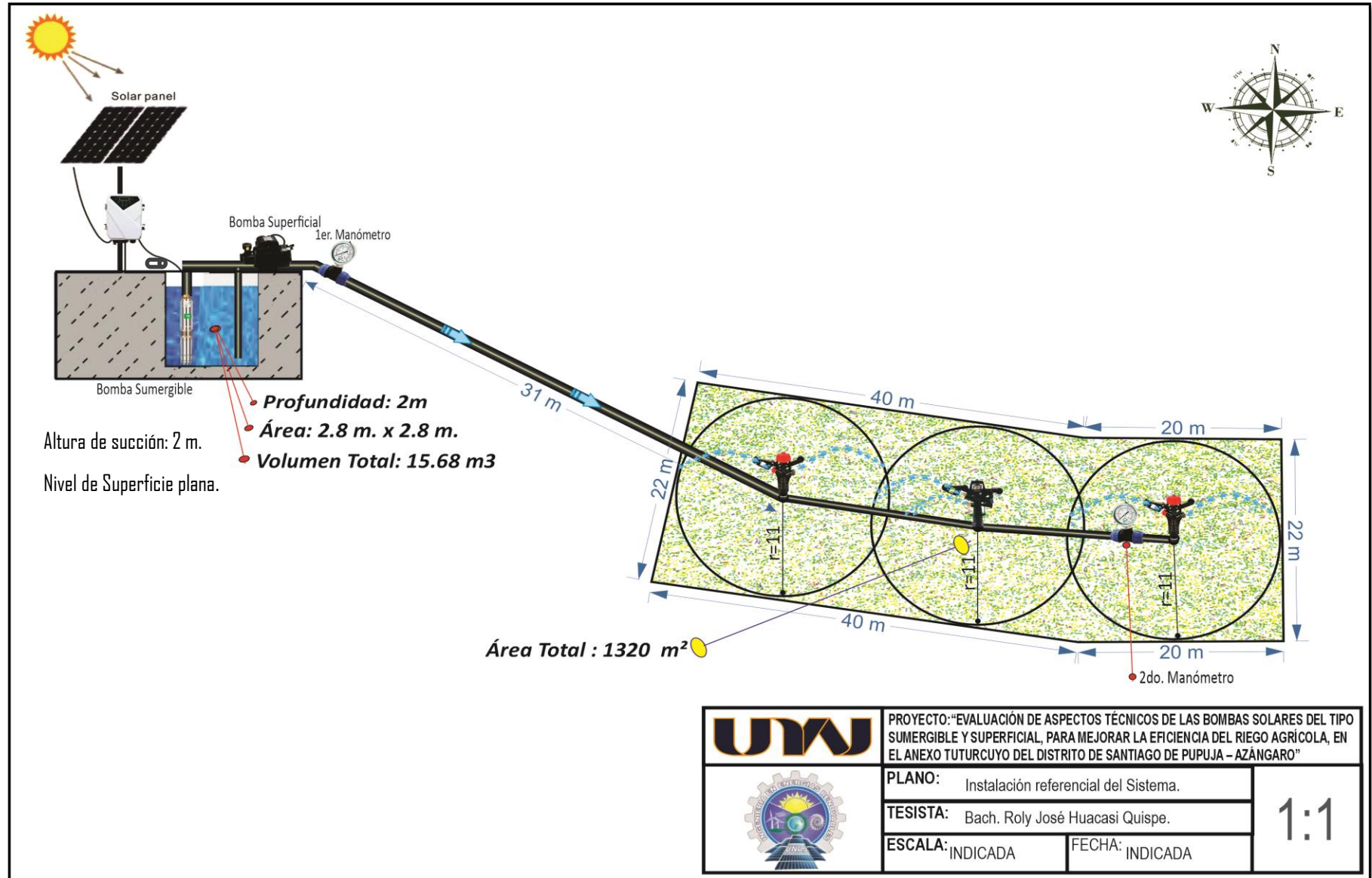


Especificaciones técnicas

Boquilla (mm)	Presión (bar)	Radio (m)	Caudal (m3/h)
5.0 x 3.2	1.5	15.75	1.92
5.0 x 3.2	2	17.8	2.14
5.0 x 3.2	2.5	19.2	2.46
5.0 x 3.2	3	20	2.74
5.0 x 3.2	3.5	20.3	2.94

Fuente: Ficha técnica Akona Fox.

Anexo 10. Diagrama de instalación y área de irrigación



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Bomba sumergible solar CC.

BOMBA SUMERGIBLE DE CC

Protección del medio ambiente y ahorro de energía

TIPO DE CONTROLADOR EXTERNO DE CC

VENTAJA DE LA BOMBA SOLAR DE CC

1. Motor síncrono sin escobillas de CC de imán permanente: La eficiencia aumenta entre un 15% y un 20%, ahorrando consumo de energía.
2. Todo el eje del rotor de acero inoxidable 304 evita el riesgo de rotura del eje.
3. Salida/conector/cilindro de aceite de latón/acero inoxidable, con mejor resistencia a la corrosión.
4. Rodamiento japonés NSK, mayor vida útil.
5. La estructura de doble cojinete en la parte inferior del rotor, que utiliza un cojinete de contacto angular, puede soportar una mayor presión axial.
6. Sello mecánico de grafito impregnado de carburo de silicio, larga vida útil y funcionamiento confiable.
7. Alambre de cobre resistente a altas temperaturas a 180°C, clase de aislamiento F.
8. Estator y rotor de chapa de acero al silicio 600 laminado en frío.
9. El imán está hecho de boro de hierro y aluminio 40SH, con una resistencia a la temperatura de 150C.
10. Eje de la bomba 304 S / S.
11. Controlador:
 - (1) Grado impermeable: IP65
 - (2) Amplio rango de voltaje de circuito abierto
 - (3) Temperatura ambiente: -15°C-60°C
 - (4) Función MPPT, la tasa de utilización de energía solar es mayor.
 - (5) El LED muestra las condiciones de trabajo de potencia, voltaje, corriente, velocidad, etc. (6) Puede ajustar automáticamente la velocidad de operación de acuerdo con la potencia de la luz solar, y también puede ajustar manualmente la velocidad para operación según la demanda real. (7) Arranque y apagado automático, sin personal de guardia. (8) Arranque suave: Sin corriente de impulso, protege el motor de la bomba. (9) Sobretensión/subvoltaje, sobrecorriente/pérdida de fase/cortocircuito/escasez de agua/protección contra altas temperaturas, etc.
 12. 2 años de garantía.

Fuente: Ficha técnica de la bomba sumergible.

Anexo 12. Ambiente de trabajo y propiedad técnica de la bomba sumergible.

3DPC

3" DC BRUSHLESS SOLAR PUMP WITH PLASTIC IMPELLER




Stainless steel outlet


Copper outlet


Stainless steel connecting fitting



Copper connecting fitting


Stainless steel oil cylinder


Copper oil cylinder

Two designs for selection


Plastic impeller

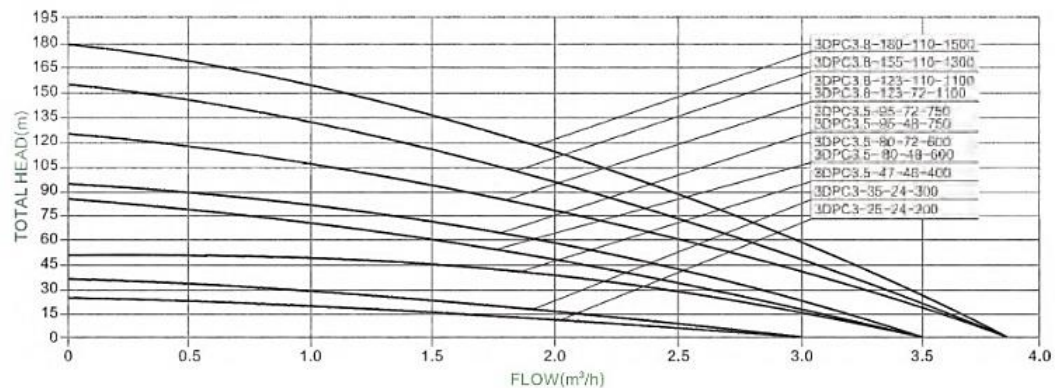

NSK Bearing


DC controller

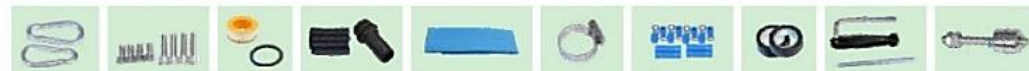
TECHNICAL DATA

ITEM	Voltage	Optimum input voltage (DC)	Power	Max. Flow	Max. Head	Outlet	Cable	Solar panel	
								Open circuit voltage (VOC)	Power
3DPC3-25-24-200	24V	30V-48V	200W	3.0m ³ /h	25m	1.25"	2m	<55V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3-35-24-300	24V	30V-48V	300W	3.0m ³ /h	35m	1.25"	2m	<55V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.5-47-48-400	48V	60V-90V	400W	3.5m ³ /h	47m	1.25"	2m	<105V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.5-80-48-600	48V	60V-90V	600W	3.5m ³ /h	80m	1.25"	2m	<105V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.5-80-72-600	72V	90V-120V	600W	3.5m ³ /h	80m	1.25"	2m	<160V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.5-95-48-750	48V	60V-90V	750W	3.5m ³ /h	95m	1.25"	2m	<105V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.5-95-72-750	72V	90V-120V	750W	3.5m ³ /h	95m	1.25"	2m	<160V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.8-123-72-1100	72V	90V-120V	1100W	3.8m ³ /h	123m	1.25"	2m	<160V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.8-123-110-1100	110V	110V-150V	1100W	3.8m ³ /h	123m	1.25"	2m	<210V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.8-155-110-1300	110V	110V-150V	1300W	3.8m ³ /h	155m	1.25"	2m	<210V	≥ 1.3*PUMP POWER
3DPC3.8-180-110-1500	110V	110V-150V	1500W	3.8m ³ /h	180m	1.25"	2m	<210V	≥ 1.3*PUMP POWER

HYDRAULIC PERFORMANCE CURVES



FREE SPARE PARTS



Fuente: Ficha técnica de la bomba sumergible, 3DPC.

Anexo 13. Irradiancia solar mensual de mes de enero, data PVgis a 3925 msnm.

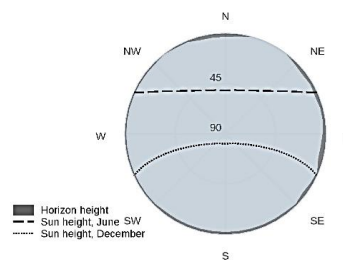


PVGIS geo-temporal irradiation database :

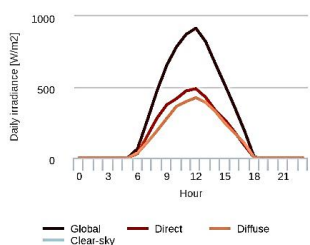
Provided inputs :

Location [Lat/Lon]: -15.137 , -70.216
 Elevation: 3925
 Horizon: calculated
 Database used: PVGIS-NSRDB
 Month: january

Outline of horizon at chosen location:



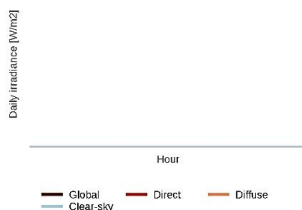
Daily average irradiance on fixed plane, slope 15° & azimuth 0°



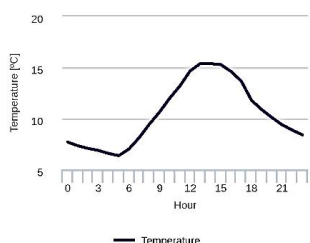
Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
G(t)	0	0	0	0	0	0	63	265	473	654	794	873	916	822	665	513	357	190	3	0	0	0	0	0
Gd(t)	0	0	0	0	0	0	30	155	280	375	418	473	488	428	335	268	182	87	1	0	0	0	0	0
Gd(t)	0	0	0	0	0	0	34	109	191	278	364	398	425	392	328	244	175	103	2	0	0	0	0	0

G(t): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(t): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(t): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2]. [W/m2].

Daily average irradiance on sun-tracking plane



Daily average temperature



Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T2m	8	8	8	7	7	7	8	9	10	11	12	14	15	16	16	16	15	14	12	11	11	10	9	9

T2m: Daily average temperature [°C].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our services will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en



Anexo 14. Irradiancia solar mensual de mes de febrero data PVgis, elevación de 3925 msnm.

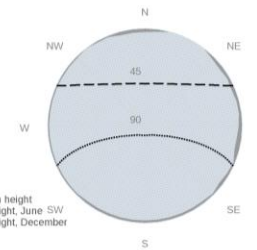


PVGIS geo-temporal irradiation database :

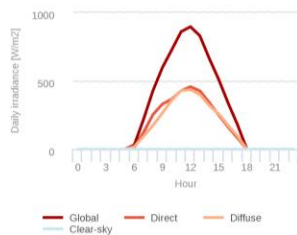
Provided inputs :

Location [Lat/Lon]: -15.137 , -70.216
 Elevation: 3925
 Horizon: calculated
 Database used: PVGIS-NSRDB
 Month: february

Outline of horizon at chosen location:



Daily average irradiance on fixed plane, slope 15° & azimuth 0°



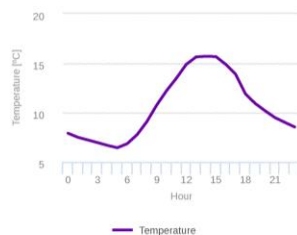
Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Gf()	0	0	0	0	0	0	31	220	430	598	728	861	897	830	665	512	340	182	2	0	0	0	0	0
Gd()	0	0	0	0	0	0	11	125	254	331	367	428	458	428	342	251	164	84	1	0	0	0	0	0
Gd()	0	0	0	0	0	0	19	95	175	266	359	430	437	400	321	259	176	96	2	0	0	0	0	0
Gcs()	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gf(): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2]. [W/m2].
 Gcs(): Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m2].

Daily average irradiance on sun-tracking plane



Daily average temperature



Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T2m	8	8	8	7	7	7	7	8	10	11	13	14	15	16	16	16	15	14	12	11	11	10	9	9

T2m: Daily average temperature [°C].

The European Commission maintains this website to ensure public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site. It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites. For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en



PVGIS ©European Union, 2001-2024. Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated. Report generated on 2024/01/12

Anexo 15. Irradiancia solar mensual de mes de marzo, data PVgis a elevación de 3925 msnm.

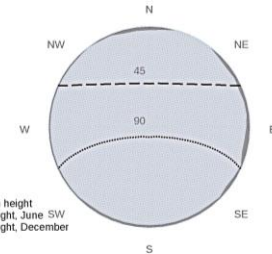


PVGIS geo-temporal irradiation database :

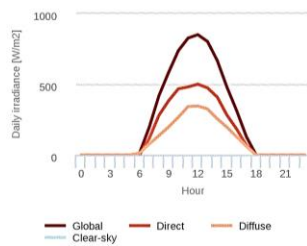
Provided inputs :

Location [Lat/Lon]: -15.137 , -70.216
 Elevation: 3925
 Horizon: calculated
 Database used: PVGIS-NSRDB
 Month: march

Outline of horizon at chosen location:



Daily average irradiance on fixed plane, slope 15° & azimuth 0°



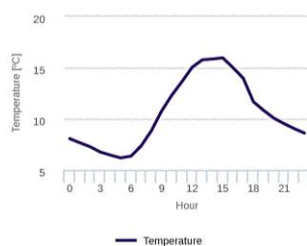
Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
G(i)	0	0	0	0	0	0	13	196	420	585	738	827	851	802	668	479	313	129	0	0	0	0	0	0
Gd(i)	0	0	0	0	0	0	0	118	281	384	468	482	501	475	410	282	183	69	0	0	0	0	0	0

G(i):Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(i):Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd(i):Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2]. [W/m2].

Daily average irradiance on sun-tracking plane



Daily average temperature



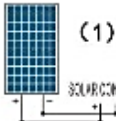
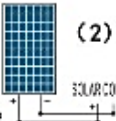
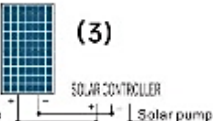
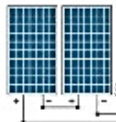
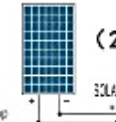
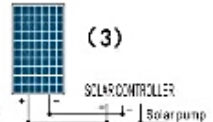
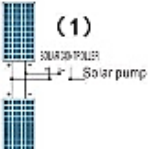
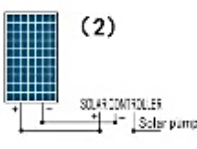
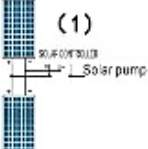
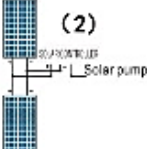
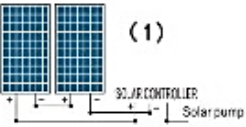
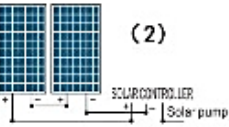
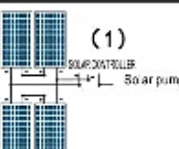
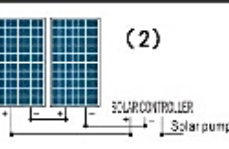
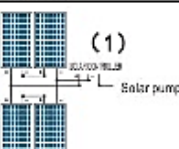

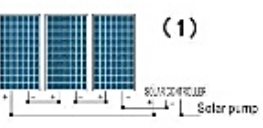
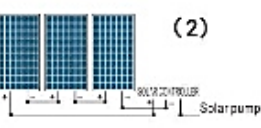
Time	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T2m	9	8	8	7	7	7	7	8	9	11	13	14	16	16	16	16	15	14	12	11	11	10	10	9

T2m:Daily average temperature [°C].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site. It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

Anexo 16. Recomendación para instalaciones de panel solar para bombas de 12 V-110 V CC.

<p>PUMP POWER 80W-12V Voc: 18V-55V</p>	  	<p>Solar panel:150W*1PCS Solar panel:270W*1PCS Solar panel:330W*1PCS</p>
<p>PUMP POWER 120W-24V 180W-24V 200W-24V 210W-24V 210W-36V Voc: 18V-55V</p>	  	<p>Solar panel:150W*2PCS Solar panel:270W*1PCS Solar panel:330W*1PCS</p>
<p>PUMP POWER 280W-24V 300W-24V Voc: 18V-55V</p>	 	<p>Solar panel:270W*2PCS Solar panel:330W*1PCS</p>
<p>PUMP POWER 400W-36V Voc: 18V-55V</p>	 	<p>Solar panel:270W*2PCS Solar panel:330W*2PCS</p>
<p>PUMP POWER 370W-48V 400W-48V Voc: 30V-105V</p>	 	<p>Solar panel:270W*2PCS Solar panel:330W*2PCS</p>
<p>PUMP POWER 500W-48V 550W-48V Voc: 30V-105V</p>	 	<p>Solar panel:270W*4PCS Solar panel:330W*2PCS</p>
<p>PUMP POWER 600W-48V Voc: 30V-105V</p>	 	<p>Solar panel:270W*4PCS Solar panel:330W*4PCS</p>
<p>PUMP POWER 600W-72V Voc: 55V-160V</p>	 	<p>Solar panel:270W*3PCS Solar panel:330W*3PCS</p>

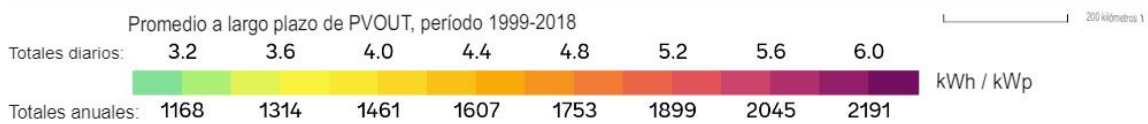
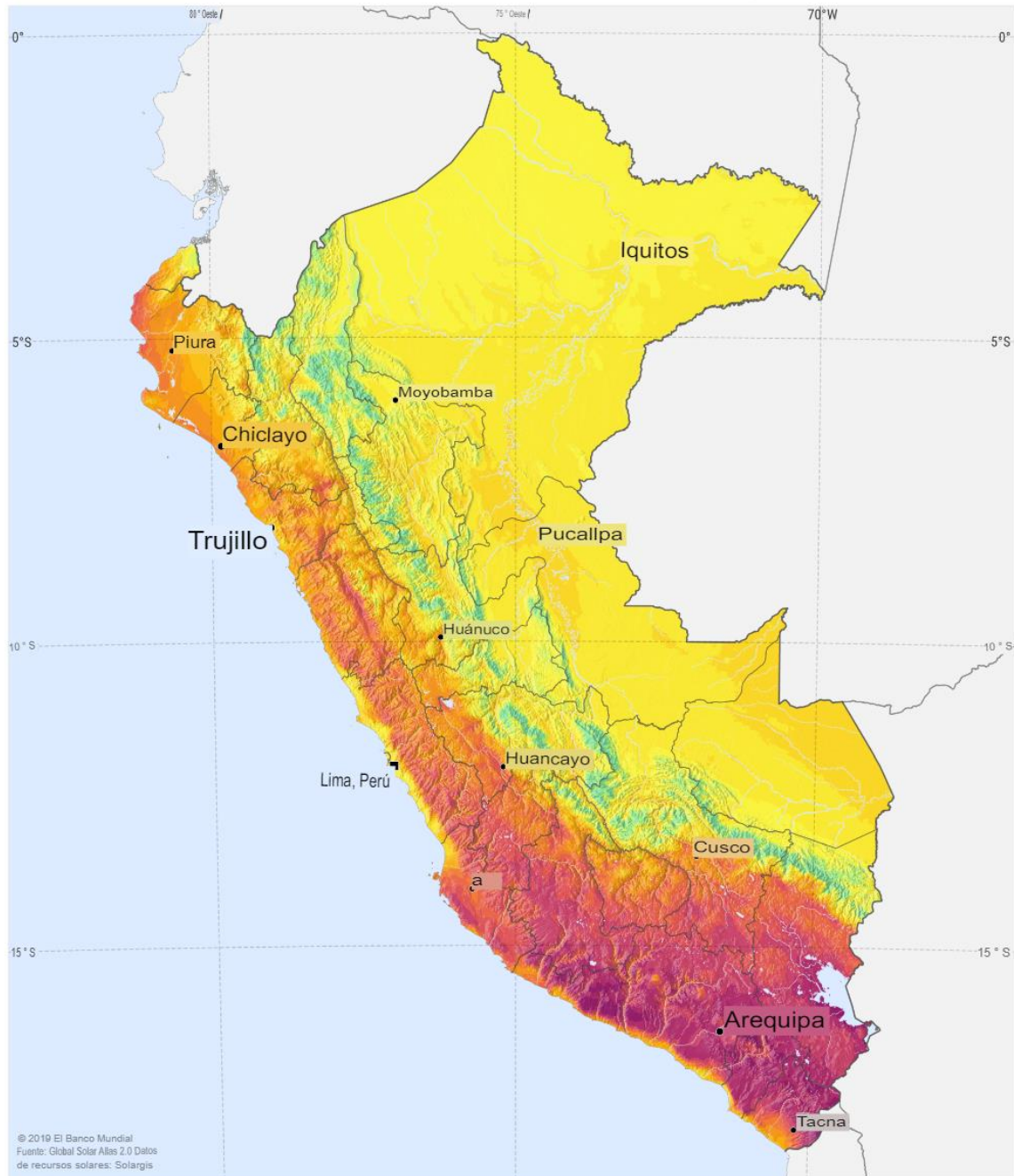
Anexo 17. Potencial de energía fotovoltaica en el Perú.

MAPA DE RECURSOS SOLARES

POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PERÚ



ESMAP¹ Solaris



Fuente: Atlas Solar Global

UNW

