



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



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA BOMBA HIDRÁULICA SUMERGIBLE DE 1 HP
DESTINADA AL RIEGO EN LA LOCALIDAD DE
TACAMANI A 3820 MSNM

Bach. Clinton Leqqe Fernandez

Bach. Lucila Coanqui Huayta

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor: Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca



JULIACA - PERÚ

2025



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



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA BOMBA HIDRÁULICA SUMERGIBLE DE 1 HP
DESTINADA AL RIEGO EN LA LOCALIDAD DE
TACAMANI A 3820 MSNM**

Bach. Clinton Leque Fernandez

Bach. Lucila Coanqui Huayta

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

Asesor: Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca



JULIACA - PERÚ

2025

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



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA BOMBA HIDRÁULICA SUMERGIBLE DE 1 HP
DESTINADA AL RIEGO EN LA LOCALIDAD DE
TACAMANI A 3820 MSNM

Bach. Clinton Leqqe Fernandez

Bach. Lucila Coanqui Huayta

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesor: Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Leque, C., & Coanqui, L. (2025). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para una bomba hidráulica sumergible de 1 HP destinada al riego en la localidad de Tacamani a 3820 msnm* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Clinton Leque Fernandez, Lucila Coanqui Huayta

Título: Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para una bomba hidráulica sumergible de 1 HP destinada al riego en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (134 páginas)

Nota: Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca.

Código: 02-0000423-02/L48

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca

Palabra clave: Energías renovables, Bombeo solar, Bomba hidráulica sumergible, Energía solar, Sostenibilidad, Viabilidad económica.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA BOMBA HIDRÁULICA SUMERGIBLE DE 1 HP DESTINADA AL RIEGO EN LA LOCALIDAD DE TACAMANI A 3820 MSNM”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentada por:

Bach. Clinton Leqqe Fernandez
Bach. Lucila Coanqui Huayta

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

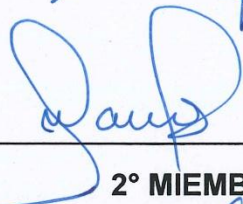
Dr. Henry Pizarro Viveros

PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Washington Miguel Soncco Vilcapaza

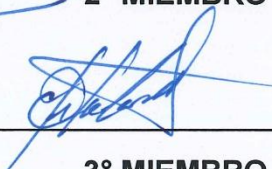
JURADO (secretario)




2° MIEMBRO

Mtro. Juan Churata Huaraya

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca
ASESOR DE TESIS

Clinton Leqqe Fernandez Lucila Coanqui Huayta

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA BOMBA HIDRÁULICA SUMERGIB...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:513823185

Fecha de entrega

16 oct 2025, 2:43 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 oct 2025, 2:46 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

BT_Entregable.pdf

Tamaño del archivo

8.3 MB

134 páginas

25.572 palabras

144.251 caracteres



Mg. JHON ABARCA




7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.


Mg. JHON ABARCA

DEDICATORIA

A mi Madre Getrudis Patricia Fernandez de Leqqe, Padre Geronimo Leqqe Mamani, mis hermanos Lidia, Abel, Dagny y Americo por su apoyo anímico y económico durante el transcurso de mi formación académica para lograr el objetivo de convertirme en un profesional al servicio de la sociedad.

Clinton Leqqe Fernandez

A Dios por brindarme salud y a mí por no rendirme en momentos críticos, por el esfuerzo y la dedicación a lo largo de este proceso.

A mi madre Matilde Huayta y a mi padre Venancio Coanqui, quienes con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido mi inspiración y mi fuerza durante todo este camino.

A mis hermanos por su respaldo incondicional, por brindarme motivación en cada etapa de mi formación profesional.

Lucila Coanqui Huayta

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por permitirme las condiciones físicas y mentales para ejecutar mis objetivos, a mis padres Getrudis Patricia Fernandez de Leque y Geronimo Leque Mamani, a mis hermanos Lidia, Abel, Dagny y Americo.

La Universidad Nacional de Juliaca que juntamente con sus docentes me brindaron la formación necesaria para desempeñarme en mi entorno profesional.

A mi distinguido asesor Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca por su disponibilidad al apoyar con las sugerencias y recomendaciones para la ejecución de este proyecto.

Clinton Leque Fernandez

A mis padres Matilde Huayta y Venancio Coanqui agradezco profundamente por su apoyo constante que me han brindado a lo largo de mi formación profesional, su confianza, amor y motivación han sido fundamental, sin su acompañamiento y respaldo, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos por sus palabras de aliento en todo momento han sido clave en cada etapa de esta trayectoria.

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi asesor Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca, por brindarnos su tiempo, conocimiento y orientación durante el desarrollo de este proyecto.

Lucila Coanqui Huayta

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	vi
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos.....	xvii
Resumen	16
Abstract	17

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 El problema de investigación	21
1.1.1 Problema general	21
1.1.2 Problemas específicos.....	21
1.2 Objetivos de la investigación	22
1.2.1 Objetivo general	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 Justificación de la investigación.....	22
1.3.1 Justificación técnica.....	22
1.3.2 Justificación social.....	23
1.3.3 Justificación económica.....	23

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación	24
2.1.1 Antecedentes internacionales	24
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	25
2.1.3 Antecedentes locales.....	27
2.2 Bases teóricas	28
2.2.1 Riego agrícola mediante energía solar fotovoltaica	28
2.2.2 Bomba sumergible.....	28
2.2.3 Paneles solares.....	29
2.3 Marco conceptual	29

2.3.1 Irradiancia.....	29
2.3.2 Irradiación.....	30
2.3.3 Componentes de radiación solar.....	30
2.3.4 Tipos de paneles solares	31
2.3.5 Panel fotovoltaico bifacial	32
2.3.6 Tipos de electrobombas	32
2.3.7 Fuente de energía para la electrobomba	34
2.3.8 Sistema de bombeo solar fotovoltaico.....	35
2.3.9 Tecnologías de riego de cultivos	36
2.3.10 Métodos de riego	37
2.3.11 Componentes de un sistema de riego	38
2.3.12 Termomagnético.....	39
2.3.13 Cableado.....	39

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Hipótesis de la investigación.....	40
3.1.1 Hipótesis general	40
3.1.2 Hipótesis específica	40
3.2 Metodología.....	40
3.2.1 Ámbito del proyecto	40
3.3 Tipo, nivel y diseño de investigación.....	42
3.3.1 Tipo de investigación.....	42
3.3.2 Nivel de investigación	42
3.3.3 Diseño de la investigación.....	43
3.3.4 Población y muestra.....	43
3.3.5 La observación.....	43
3.3.6 Horas Sol Pico	43
3.3.7 Caudal.....	44
3.3.8 Altura hidráulica	45
3.3.9 Altura dinámica para los aspersores	45
3.3.10 Pérdidas en el sistema.....	45
3.3.11 Número de Reynolds	45
3.3.12 Pérdidas por fricción en la tubería.....	47
3.3.13 Pérdidas por fricción en accesorios	47

3.3.14	Energía hidráulica de electrobomba	48
3.3.15	Potencia hidráulica de la electrobomba	48
3.3.16	Potencia eléctrica de la electrobomba	49
3.3.17	Energía requerida para el dimensionamiento del generador fotovoltaico.	49
3.3.18	Potencia del generador.....	49
3.3.19	Corrección por temperatura de características del panel	50
3.3.20	Número de paneles fotovoltaico	51
3.3.21	Inclinación del panel fotovoltaico	53
3.3.22	Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para la electrobomba	53
3.4	Diseño de sistema de control y protección.....	53
3.4.1	Diseño de sistema de control	53
3.4.2	Diseño de sistema de protección	54
3.4.3	Metodología para el diseño del sistema de control y protección.....	56
3.5	Viabilidad económica.....	56
3.5.1	Valor actual neto (VAN)	56
3.5.2	Tasa interna de retorno (TIR)	57
3.5.3	Periodo de recuperación (PAY-BACK)	57
3.5.4	Metodología para el análisis de la viabilidad económica	57
3.6	Materiales y equipos.....	57
3.6.1	Bomba hidráulica sumergible	57
3.6.2	Panel fotovoltaico	58
3.6.3	Inversor variador de frecuencia	60
3.6.4	Dispositivos de protección.....	62
3.6.5	Elección de la estructura para los paneles fotovoltaicos	62
3.6.6	Tubería.....	63
3.6.7	Sistema de control	64

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	66
4.1.1	Determinación de horas sol pico (HSP)	66
4.1.2	Demanda de agua.....	66
4.1.3	Cálculo de caudal	66
4.1.4	Cálculo de la altura dinámica de los aspersores	67

4.1.5	Cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería	67
4.1.6	Cálculo de pérdidas en los accesorios	69
4.1.7	Cálculo de altura hidráulica total	70
4.1.8	Cálculo de la energía hidráulica	70
4.1.9	Cálculo de potencia hidráulica de la electrobomba	70
4.1.10	Cálculo de potencia eléctrica de la electrobomba	71
4.1.11	Cálculo de la energía necesaria para el dimensionamiento del generador fotovoltaico.	71
4.1.12	Cálculo de potencia del generador.....	71
4.1.13	Cálculo número de paneles fotovoltaicos	72
4.1.14	Corrección de parámetros del panel por temperatura	72
4.1.15	Número de paneles solares	75
4.1.16	Cálculo de paneles en serie.....	75
4.1.17	Cálculo de paneles en paralelo	75
4.1.18	Cálculo de la inclinación del panel fotovoltaico	76
4.1.19	Prueba de funcionamiento	77
4.2	Resultados del diseño e implementación del sistema de control y protección.....	82
4.3	Resultados del análisis de viabilidad económica (VAN, TIR y PAYBACK).....	86
4.3.1	Elaboración de flujo de caja del sistema fotovoltaico	86
4.3.2	Evaluación económica del sistema fotovoltaico.....	89
4.3.3	Elaboración de flujo de caja del sistema de bombeo con grupo electrógeno ..	91
4.4	Especificaciones de los componentes instalados en el sistema de bombeo solar ...	95
4.5	Procedimiento de instalación de sistema fotovoltaico para bombeo.....	99
4.5.1	Reconocimiento y medición de parámetros en el lugar de instalación.....	99
4.5.2	Encofrado de dados o zapatas para estructura	100
4.5.3	Armado de la estructura para los paneles	100
4.5.4	Montaje de paneles fotovoltaicos	101
4.5.5	Armado y fijado de tablero eléctrico	102
4.5.6	Instalación de bomba hidráulica sumergible	103
4.5.7	Instalación de sensor de nivel de agua.....	103
4.5.8	Instalación de politubo y accesorio (HDPE)	104
4.5.9	Sumergimiento de electrobomba hidráulica	104
4.5.10	Conexionado de paneles fotovoltaicos	105
4.5.11	Programación manual del inversor variador.....	106

4.5.12 Fijación de conexiones eléctricas y tubería HDPE.....	106
4.5.13 Puesta en marcha del sistema fotovoltaico y electrobomba	107
4.6 Discusión.....	108

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	109
5.2 Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de ubicación del proyecto.....	40
Tabla 2 Parámetros del pozo.....	41
Tabla 3 Características del terreno para el riego.	42
Tabla 4 Comparativa de bombas Pedrollo, Difful y Lorentz.....	58
Tabla 5 Comparativa de paneles fotovoltaicos.	59
Tabla 6 Horas Sol Pico mensual de Comunidad Campesina de Tacamani.	66
Tabla 7 Especificaciones técnicas del panel.	72
Tabla 8 Evaluación de configuraciones con la potencia de generación.	77
Tabla 9 Datos medidos en pleno funcionamiento.	78
Tabla 10 Resumen de los resultados del sistema de control y protección.....	86
Tabla 11 Presupuesto de ejecución del proyecto.....	86
Tabla 12 Flujo de caja y beneficio proyectado a 15 años del sistema de bombeo solar. ...	90
Tabla 13 Presupuesto estimado de un proyecto de bombeo con G.E.....	91
Tabla 14 Flujo de caja proyectado con grupo electrógeno a 15 años.	93
Tabla 15 Resumen del resultado del análisis económico.	95
Tabla 16 Características del inversor variador Hober HPSH750LB.....	98
Tabla 17 Parámetros indispensables para configurar en el inversor variador.	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pozo tubular de la localidad Tacamani	21
Figura 2 Sistema de bombeo solar directo	28
Figura 3 Elementos de las instalaciones solares fotovoltaicas	29
Figura 4 Irradiancia en un cuerpo.....	30
Figura 5 Tipos de radiación solar	30
Figura 6 Panel solar monocristalino	31
Figura 7 Panel solar policristalino	32
Figura 8 Reflexión de la luz en un panel bifacial.....	32
Figura 9 Electrobomba superficial	33
Figura 10 Bomba sumergible en un sistema de bombeo.....	34
Figura 11 Inversor convencional.....	34
Figura 12 Inversor variador de frecuencia.....	35
Figura 13 Microaspersión.....	37
Figura 14 Acoples	38
Figura 15 Selección de electricidad.....	39
Figura 16 Ubicación del proyecto bombeo solar.....	41
Figura 17 Cultivo de alfalfa en la comunidad Tacamani	42
Figura 18 Horas Sol Pico.....	44
Figura 19 Diagrama de Moody	46
Figura 20 Funcionamiento de sensor de nivel de agua.....	54
Figura 21 Dispositivos de protección	55
Figura 22 Bombas sumergibles Pedrollo, Difful y Lorentz	58
Figura 23 Panel fotovoltaico Bifacial Trina solar	59
Figura 24 Ficha técnica de inversores variadores INVT	60
Figura 25 Ficha técnica de inversores variadores QUADRO	61
Figura 26 Ficha técnica de inversores variadores HOBER	61

Figura 27 Marcas de dispositivos de protección	62
Figura 28 Estructura para tres paneles fotovoltaicos.....	63
Figura 29 Tubería PVC para agua de la marca Pavco.....	63
Figura 30 Tubería HDPE.....	64
Figura 31 Selección de factor de fricción.....	68
Figura 32 Temperatura mínima de cada mes durante tres años	72
Figura 33 Temperatura máxima de cada mes durante tres años.....	73
Figura 34 Comportamiento de la potencia que suministra los paneles solares	78
Figura 35 Comportamiento de la corriente que suministra los paneles solares	79
Figura 36 Comportamiento de la corriente que suministra los paneles solares	79
Figura 37 Potencia que suministra el inversor variador a la electrobomba.....	80
Figura 38 Tensión que suministra el inversor variador a la electrobomba.....	80
Figura 39 Corriente que suministra el inversor variador a la electrobomba	81
Figura 40 Medición de los parámetros del bebedero.....	81
Figura 41 Llenado del bebedero para medir el caudal	82
Figura 42 Termomagnético DC y sus dimensiones (mm).....	83
Figura 43 Portafusible y sus dimensiones (mm).	84
Figura 44 Dispositivo de protección contra sobretensiones y sus dimensiones (mm).....	85
Figura 45 Dispositivos de protección y sensor de nivel de agua.....	85
Figura 46 Flujo de caja acumulado durante 15 años.	90
Figura 47 Valor actual neto acumulado durante 15 años	94
Figura 48 Electrobomba Pedrollo 4SRm 25G/10-F	96
Figura 49 Curva de características de la bomba sumergible Pedrollo 25G/10-F.....	96
Figura 50 Curva de características de la bomba sumergible Pedrollo 25G/10-F.....	97
Figura 51 Panel fotovoltaico Bifacial Trina solar 610Wp.....	97
Figura 52 Politubo HDPE.....	98
Figura 53 Sensor de nivel de agua.....	99

Figura 54	Proyección y preparación del lugar.....	99
Figura 55	Excavación y encofrado de dados para las zapatas de la estructura.	100
Figura 56	Fijación y armado de la estructura de aluminio.	100
Figura 57	Estructura armada para los paneles solares.....	101
Figura 58	Colocado y fijación de paneles fotovoltaicos.	101
Figura 59	Verificación de la inclinación del arreglo fotovoltaico.....	102
Figura 60	Instalación de dispositivos de protección y fijación de tablero eléctrico.....	102
Figura 61	Conexión de los conductores eléctricos de la electrobomba.....	103
Figura 62	Instalación del sensor de nivel de agua.....	104
Figura 63	Tendido de politubo e instalación de aspersores.....	104
Figura 64	Sumergido de electrobomba.....	105
Figura 65	Formación de string de 3 paneles.....	105
Figura 66	Configuración de los parámetros del inversor variador.	106
Figura 67	Tubería corrugada y politubo conducido por el suelo.	107
Figura 68	Funcionamiento de los aspersores.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Propiedades del agua y pérdidas hidráulicas.	115
Anexo 2. Componente fotovoltaico	117
Anexo 3. Características de la bomba hidráulica sumergible	119
Anexo 4. Fichas técnicas de los dispositivos de protección.....	121
Anexo 5. Características del grupo electrógeno.....	124
Anexo 6. Características del inversor variador	125
Anexo 7. Estructuras y montaje mecánico.	128
Anexo 8. Conexiones e instalaciones.....	130
Anexo 9. Verificación y prueba de funcionamiento.....	131
Anexo 10. Planos.....	133

RESUMEN

La tecnología fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad, por lo que al ser una fuente de energía renovable es importante sus aplicaciones a distintos rubros. Actualmente en el Perú, con el cambio climático y la sequía se hizo notar una gran necesidad al acceso del recurso hídrico un elemento esencial para el riego de distintos cultivos, esta necesidad se refleja en la escasez del producto agrícola y la disminución de la condición económica de las familias rurales. Ante ello, se planteó diseñar e implementar un sistema fotovoltaico para alimentar una bomba hidráulica sumergible de 1HP para mejorar la producción agrícola. Para lograr dicho objetivo se propuso realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el diseño del sistema de control y protección, el análisis de viabilidad económica del sistema fotovoltaico a comparación de usar un grupo electrógeno. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y experimental. Se usaron cálculos hidráulicos y eléctricos, herramientas como AutoCAD e indicadores de análisis económico (VAN, TIR y Payback) para nuestro sistema de bombeo solar contra el uso de combustible de un generador. Los principales materiales utilizados fueron 3 paneles fotovoltaicos Trina Solar de 610W, una bomba Pedrollo de 750W, un inversor variador Hober. El sistema implementado logró un caudal medido de $82.58l/min$ y una altura hidráulica calculada total de 68.26m. En cuanto a la viabilidad económica, se comprobó que el proyecto resulta rentable para su implementación. En conclusión, se implementó un sistema de bombeo solar a través de un arreglo fotovoltaico con una potencia total de 1830Wp que satisface la Pg de 1889.0Wp, también incorporando un sensor de nivel de agua, un termomagnético de 550V, fusibles de 20A y un DPS de 600V, como indicadores de viabilidad económica si se utiliza un grupo electrógeno su VAN es de $-S/4,336.04$ y al utilizar un sistema de bombeo solar un VAN de $S/3,858.25$ un TIR de 21% y un tiempo de recuperación de 6 años 10 meses y 21 días. Con lo cual la implementación de dicho proyecto contribuye a mejorar la productividad agrícola y el nivel económico de los agricultores, mediante el acceso garantizado al líquido vital.

Palabras clave: Energías renovables, bombeo solar, bomba hidráulica sumergible, energía solar, sostenibilidad, viabilidad económica.

ABSTRACT

Photovoltaic technology converts solar radiation into electricity, so as a renewable energy source, its applications in various sectors are important. Currently in Peru, climate change and drought have led to a significant need for access to water, an essential element for irrigating various crops. This need is reflected in the scarcity of agricultural products and the decline in the economic conditions of rural families. Given this, the project proposed designing and implementing a photovoltaic system to power a 1 HP submersible hydraulic pump to improve agricultural production. To achieve this objective, the project involved sizing the photovoltaic system, designing the control and protection system, and analyzing the economic feasibility of the photovoltaic system compared to using a generator. The methodology used was applied, with a quantitative and experimental approach. Hydraulic and electrical calculations, tools such as AutoCAD, and economic analysis indicators (NPV, IRR, and payback) were used for our solar pumping system versus the use of generator fuel. The main materials used were three 610W Trina Solar photovoltaic panels, a 750W Pedrollo pump, and a Hober variable-speed inverter. The implemented system achieved a measured flow rate of 82.58 l/min and a total calculated hydraulic head of 68.26 m. Regarding its economic viability, the project was proven to be cost-effective. In conclusion, a solar pumping system was implemented through a photovoltaic array with a total power of 1830Wp that satisfies the P_g of 1889.0Wp, also incorporating a water level sensor, a 550V thermomagnetic, 20A fuses and a 600V DPS, as indicators of economic viability if a generator is used its NPV is $-S / . 4,336.04$ and when using a solar pumping system an NPV of $S / . 3,858.25$ an IRR of 21% and a payback time of 6 years 10 months and 21 days. With which the implementation of this project contributes to improving agricultural productivity and the economic level of farmers, through guaranteed access to the vital liquid.

Keywords: Renewable energy, solar pumping, submersible hydraulic pump, solar energy, sustainability, economic viability.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El cambio climático y el efecto invernadero generan una creciente escasez de recursos hídricos en diversas regiones del planeta, y nuestro país no es ajeno a esta problemática. Por esta situación, se tiene la necesidad de buscar alternativas que contribuyan a mitigar sus efectos, siendo la utilización de las energías renovables una opción sostenible y eficiente para garantizar el suministro de agua destinada al riego de cultivos.

La localidad de Tacamani que se encuentra en la región de Puno, enfrenta desafíos significativos en el riego de sus cultivos, especialmente durante las temporadas de sequía, así como por los costos elevados que conlleva al uso de fuentes de energía convencional. Debido a la ausencia de proyectos de riego incluso con métodos tradicionales de bombeo, y considerando que la región cuenta con un recurso solar abundante, se plantea implementar un sistema fotovoltaico para alimentar con electricidad a una electrobomba destinada al riego de un cultivo agrícola.

La disposición insuficiente de recursos hídricos adecuados y la ineficiencia en el manejo de recursos hídricos resultan en un bajo rendimiento de los cultivos, lo que afecta negativamente la seguridad alimentaria y la economía local. Además, el uso de bombas con una fuente de energía eléctrica a combustible implica costos operativos elevados y repercute negativamente al medio ambiente debido al consumo de hidrocarburos.

Ante esta problemática, se implementa un sistema de bombeo solar fotovoltaico con una bomba hidráulica sumergible para el riego agrícola en la comunidad de Tacamani el cual es una solución a esta problemática. Se realizó una investigación para evaluar la factibilidad técnica y económica de esta propuesta. Se abordaron aspectos como el diseño y dimensionamiento adecuado del sistema de bombeo utilizando paneles solares, el dispositivo de control y protección, el análisis de los costos y beneficios asociados al empleo de energía fotovoltaica en comparación con el uso de un generador a combustible.

Nuestro enfoque principal se centra en la tecnología de bombeo solar fotovoltaico, el lugar elegido se encuentra al sur de Perú que se ubica en una de las zonas con mayor radiación solar del planeta, la investigación se desarrolló con la intención de implementar un sistema de bombeo solar como proyecto piloto el cual se encargará principalmente al funcionamiento de una bomba hidráulica en el contexto específico de la localidad de Tacamani. Además, se planea que sirva como un modelo replicable para futuros proyectos similares en la región, contribuyendo así a la reducción de los efectos de la sequía y

fomentando prácticas agrícolas más sostenibles en comunidades afectadas. En la Figura 1 podemos observar el pozo de la localidad Tacamani donde se destaca que la retención de agua es constante a lo largo de 10 años, el uso común que se le da es doméstico.

Figura 1

Pozo tubular de la localidad Tacamani



Nota. Elaboración propia.

1.1 El problema de investigación

Bajo los argumentos propuestos es que podemos plantear las siguientes interrogantes de investigación:

1.1.1 Problema general

¿Será posible diseñar e implementar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP en la localidad de Tacamani a 3820 msnm?

1.1.2 Problemas específicos

¿Cuál será la potencia de generación del sistema fotovoltaico considerando la radiación solar para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada el riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm?

¿De qué manera diseñar e implementar el sistema de control y protección para una bomba hidráulica de 1HP destinada el riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm?

¿Será importante analizar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico frente a otro tipo de energía convencional para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de una bomba hidráulica sumergible de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

1.2.2 Objetivos específicos

Dimensionar un sistema fotovoltaico considerando la radiación solar con una potencia de generación que garantice el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

Diseñar e implementar el sistema de control y protección para una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

Analizar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico frente a otro tipo de energía convencional para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación técnica.

La ejecución de nuestro proyecto, previo diseño del sistema fotovoltaico responde directamente a la carencia de contar con un sistema de riego confiable, eficiente y autónomo en zonas rurales de difícil acceso, como Tacamani. Dada su altitud de 3820 msnm y las condiciones climáticas, el uso de energía solar resulta altamente viable, ya que la radiación solar en esta región es considerable durante la mayor parte del año.

Los sistemas de bombeo con tecnología fotovoltaico requieren un mantenimiento mínimo y tienen una vida útil prolongada. Algunos componentes, como los paneles solares, pueden durar hasta 25 años o más, lo que disminuye los costos de mantenimiento a durante la vida útil, pueden operar de manera autónoma y confiable, sin depender de la disponibilidad de electricidad de la red. Esto garantiza un suministro de agua continuo y estable para el

riego de cultivos, incluso en áreas remotas o con infraestructura eléctrica deficiente. En el lugar se cuenta con una fuente de agua apropiada y dado que no hay un sistema disponible para almacenar agua, el riego es de manera directa.

1.3.2 Justificación social

La presente adopción del sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego agrícola ofrece múltiples beneficios sociales y ambientales. En primer lugar, garantiza un suministro confiable de agua para los cultivos, lo que contribuye a incrementar la productividad y mejorar la coyuntura económica tanto de los agricultores como de toda la comunidad.

Al tratarse de una fuente limpia y renovable, colabora a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a minimizar la emisión de gases de efecto invernadero. Con ello favorecemos la conservación del medio ambiente y se aporta a la mitigación del cambio climático, generando condiciones más sostenibles para las generaciones presentes y futuras.

Asimismo, el acceso seguro y constante al agua de riego impulsa el desarrollo rural al fortalecer la actividad agrícola, generar empleo local y dinamizar la economía de la zona. Todo ello contribuye a reducir la migración hacia áreas urbanas en busca de oportunidades, favoreciendo la continuidad de las familias en el medio rural y mejorando el bienestar colectivo.

1.3.3 Justificación económica

El diseño e implementación de un sistema fotovoltaico constituye un desembolso de dinero rentable y sostenible a largo plazo. Si bien la instalación inicial implica un desembolso considerable, este se recupera en poco tiempo debido a que la energía solar está exento de pago y es abundante, además permite operar el sistema sin generar gastos recurrentes en combustible ni elevados costos de mantenimiento.

En comparación con el uso de combustibles para el funcionamiento de una electrobomba, el costo del hidrocarburo constituye el factor más desfavorable, ya que representa un gasto constante durante toda la operación del sistema de bombeo. A esto se suma que el riego debe ser continuo a lo largo del proceso de producción agrícola, lo que incrementa significativamente el consumo, además la dependencia de combustibles fósiles expone al productor a la variabilidad de precios en el mercado y a los costos logísticos de transporte y almacenamiento, especialmente en zonas rurales, lo que eleva aún más los gastos de operación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Gonzales & Lanuza (2018), realizan un proyecto de investigación, donde tuvieron como objetivo principal proponer un sistema de riego por goteo alimentado mediante un sistema de bombeo solar fotovoltaico, con el fin de mejorar la producción agrícola de la finca Concepción, ubicada en la comarca Ato Viejo, San Nicolás en Estelí. Para alcanzar dicho objetivo, en primer lugar calcularon el caudal demandado por una manzana de cultivo de tomate. Posteriormente, se procedió al dimensionamiento del sistema fotovoltaico y a la selección de la bomba requerida, utilizando ecuaciones hidráulicas y curvas características. Finalmente, se efectuó un análisis financiero con el propósito de determinar la factibilidad económica de la implementación. Los resultados obtenidos indican que el sistema requiere 12 paneles fotovoltaicos con una potencia 200 Wp cada uno, un inversor SAM CD/CA de 2 kW (120/240 V) y una bomba tipo lapicero con una potencia hidráulica de 2 HP en corriente alterna. El análisis financiero, realizado mediante los indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), demostró que el proyecto es rentable. El capital inicial ascendió a 6,513.82 USD, con una tasa de interés del 9%, y generó una utilidad de 2.09 USD por cada dólar invertido al término del quinto año tras la inversión inicial.

A nivel internacional Aqueveque (2009), indica que la elección de tres bombas Lorentz HR-07 y el montaje de paneles fotovoltaicos con una potencia de 3000 Wp en todo el arreglo fotovoltaico son adecuados para el proyecto en cuestión. Según sus resultados de la simulación de bombeo, se establece que estos equipos pueden elevar el caudal en aproximadamente un 20% más que el caudal de diseño, lo cual resulta beneficioso para el proyecto. Además este excedente no conlleva una disminución económica significativa, ya que el período de recuperación de los insumos fotovoltaicos es bajo, concretamente de 4 años. Manifiesta que después de 5 años de funcionamiento, un proyecto de bombeo de agua alimentado con energía solar fotovoltaica resulta más rentable que un proyecto semejante que utiliza bombas convencionales de corriente alterna.

El autor Ortiz (2016), propuso optimizar el sistema de riego destinado a la producción de tomates, implementar un eficiente sistema de riego por goteo con energía solar. El sistema actual presentaba pérdidas de agua y baja producción, además de depender de una fuente de

energía inestable. La propuesta incluyó cambios en el sistema de riego, expansión de la superficie cultivada y la subdivisión de la parcela en cinco sectores. La evaluación económica indicó rentabilidad y recuperación de la inversión en 10 años, pero se destacó la susceptibilidad del proyecto a cambios en el precio de venta.

El estudio que hace Arías (2017), se enfoca en simular un sistema de transferencia de carga destinada al riego con energía solar, el cual determina la fuente de potencia, ya sea energía solar o red pública, que suministrará energía al motor del sistema. El diseño y simulación del circuito se llevaron a cabo utilizando la herramienta NI Multisim 14.0. El trabajo trata aspectos teóricos claves relacionados con formas de conmutación y transferencia de carga, planteando la posibilidad de integrar estos sistemas en organopónicos que actualmente dependen especialmente de la red pública para el riego, con la posibilidad de generar ahorro de energía y reducción de contaminación ambiental. Se proporcionan observaciones sobre sistemas híbridos, el hecho de emplear la energía solar en el riego, y consideraciones relacionadas con la composición y dimensionamiento de un sistema de riego.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el entorno nacional se tienen estudios sobre el sistema de bombeo solar como lo propuesto por Peralta (2018), que instaló una bomba sumergible desde la afluencia del río Majes hasta un depósito de agua en la parte superior lo cual se utiliza para riego tecnificado para viñedos, su bombeo funciona desde las 7:30 hasta las 15:30, el rendimiento global del sistema alcanzado es de 7%, con una eficiencia del panel fotovoltaico de 12%, la recuperación del gasto del montaje del sistema se recupera en 5.3 años, mientras tanto al utilizar combustible lleva 2.8 años en recuperar la inversión

Se realizó un estudio acerca del diseño de un sistema de bombeo solar con tecnología fotovoltaica Dávalos (2019), una bomba de combustión interna que genera altos costos operativos y de mantenimiento. Por este motivo, se propone como alternativa utilizar la energía solar fotovoltaica para bombear agua. El documento presenta el análisis y descripción del recurso de energía solar disponible para diversos ángulos de inclinación, utilizando parámetros obtenidos a partir del aplicativo desarrollado por la NASA, se obtuvo 3,71 kWh/m²/día en términos de radiación solar y un ángulo óptimo de 7,5°. Además, muestra el requerimiento de energía del sistema de bombeo, con una exigencia hídrica de 40 m³/día, se necesitaban 3117,4 Wh/día de energía hidráulica.

En el mismo enfoque Alfaro (2016), diseñó un sistema de bombeo con energía fotovoltaica para proveer agua a Cajamarca, debido a que la población enfrentaba el problema de falta de agua; los residentes tenían que cubrir largas distancias para conseguirla y usarla en sus hogares y en la agricultura. Diseñó de manera precisa un sistema para producir energía eléctrica para bombear agua proveniente de un pozo manual que, a causa de la ausencia de electricidad, no estaba operativo. Su estudio permitió obtener el consumo real de energía y la elección apropiada de los equipos del sistema fotovoltaico.

Farfán (2018), se trazó como objetivo examinar la viabilidad de usar la energía solar como fuente para extraer agua subterránea con propósitos agrícolas en la Cuenca Motupe-Olmos-La Leche, proponiendo una opción más eficaz en comparación con el método convencional de bombeo mediante generador a combustible o energía comercial. La región bajo análisis presenta niveles significativos de radiación solar diaria, conforme a los datos que brinda el SENAMHI. Se ha identificado un total de 4339 pozos de agua subterránea en la zona, siendo mayoritariamente explotados mediante grupos electrógenos. El informe proporciona detalles sobre las características técnicas y mediciones de estas fuentes de agua. En base a la radiación solar que se dispone y la demanda de agua, se propone un sistema diseñado para utilizar la energía del sol en la extracción de agua subterránea, fomentando de ese modo la implementación sostenible de la energía fotovoltaica como una opción más ecológica y exenta de emisiones de gases de efecto invernadero.

El estudio de Vilches (2024), diseñó un sistema de bombeo solar para riego en zonas agrícolas aisladas, empleando el software PVsyst con el propósito de reemplazar los costosos y contaminantes motores de combustión interna que actualmente se utilizan en el cultivo de limón. La propuesta no solo busca atender este cultivo específico, sino que también plantea su posible expansión hacia otras áreas agrícolas de alto valor económico como el espárrago, la palta y el arándano, contribuyendo así a una mayor diversificación productiva. Para el dimensionamiento del sistema se utilizaron diversas herramientas de simulación y análisis, entre ellas RETScreen, Meteonorm y CropWat, complementadas con mediciones in situ que permitieron caracterizar con precisión la disponibilidad energética y los requerimientos hídricos. A partir de estos estudios se determinó una radiación solar crítica promedio de 5.80 kWh/m²/día en el mes de julio, lo que sirvió de base para determinar la evapotranspiración, requerimiento de agua, demanda de caudal, carga hidráulica y demás parámetros técnicos indispensables. El diseño final incluyó la instalación de una bomba sumergible Lorentz, ocho paneles solares fotovoltaicos de la marca Trina Solar con 405 Wp cada uno, un controlador

de la marca Lorentz y un estanque de geomembrana para almacenamiento de agua. En cuanto al análisis económico, se obtuvieron indicadores favorables: un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 32,760.78, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 19.91% y la recuperación de inversión inicial en 5.33 años. Concluyendo que el proyecto demuestra ser técnica y económicamente viable, validando el uso de energías solar en el sector agrícola. Además, fomenta la disminución de los costos operativos, promueve el uso de energía limpia y sostenible y aportar a la disminución de la huella de carbono en las actividades de riego agrícola.

2.1.3 Antecedentes locales

En nuestro ámbito local de la región de Puno, los estudios de sistema bombeo solar del recurso hídrico que se realiza gracias al riego por aspersión se menciona Arizaca (2022), el estudio evalúa la posibilidad de establecer un sistema de riego con aspersión con energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla. Al analizar el caudal de "Pujio", se obtuvo un caudal de 1.88 l/s en estiaje y 2.34 l/s en avenida. El cálculo agronómico e hidráulico determinó una demanda de 25.60 m³/día para regar 1.80 ha de alfalfa, caudal de 0.00167 m³/s y una potencia de bomba de 1 HP. La propuesta contiene el montaje de paneles solares, con un presupuesto aproximado de S/ 96,718.15. En resumen, el estudio respalda la viabilidad del proyecto solar en Rosaspata, cuenca Llalimayo.

De igual manera resaltamos la investigación que realizó Vilca (2021). El proyecto de energía solar para el riego en Rosaspata, cuenca Llalimayo, se enfoca en el diseño agronómico e hidráulico. En octubre, el mes crítico, la evapotranspiración es de 3.35 mm/día. La necesidad del recurso hídrico del proyecto es 126.68 mm, con una lámina efectiva de 66.6 mm y lámina global de 88.7 mm. Teniendo un área referencial de 18x18 m². Los aspersores, con un caudal de 2.600 l/s y alcance de 15 m, trabajando a 3.5 bar. Con 7 aspersores simultáneos, el caudal total es 5 l/s. El diseño hidráulico incluye líneas de transporte de agua, tuberías secundarias y laterales, garantizando presiones y caudales adecuados. La elección de la bomba se basó en la disponibilidad del mercado.

En su tesis de pregrado Diaz & Humberto (2021), resalta los retos relacionados con la falta de agua y electricidad en los hogares de la región, especialmente en áreas rurales con bajos recursos. Sugiere el uso del bombeo solar directo como una solución eficaz, aprovechando la abundante radiación solar del lugar. El estudio se enfoca en elaborar y poner en práctica un controlador automático con variador de frecuencia para un sistema de bombeo

fotovoltaico. Se empleó una metodología para calcular la cantidad paneles solares basándose en la temperatura de la célula solar para determinar los parámetros eléctricos corregidos y en función al rango de tensión que admite su controlador, teniendo en cuenta la ventajosa localización. Dicho proyecto se realizó experimentalmente en el laboratorio de EPIME, respaldando la teoría con datos obtenidos. El sistema comprende de paneles solares, variador de frecuencia y controlador PID a fin de mejorar el rendimiento del motor, incrementar el aprovechamiento y asegurar la eficiencia del sistema, lo que resulta en una optimización energética, gestión adecuada del motor y disminución de amperaje máximo o pico.

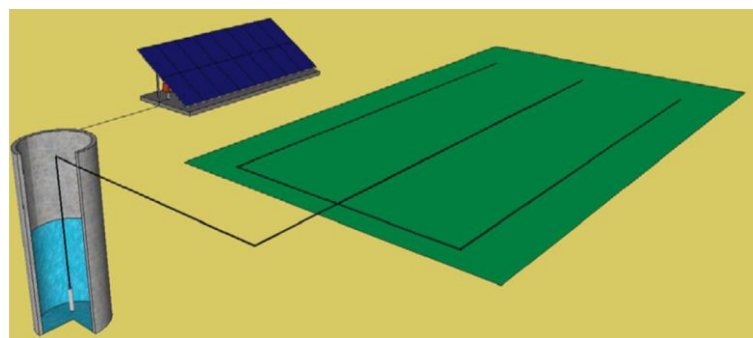
2.2 Bases teóricas

2.2.1 Riego agrícola mediante energía solar fotovoltaica

Es un mecanismo que se utiliza para aprovechar la energía que brinda el sol y transformarla en energía eléctrica, la cual luego se convierte en energía hidráulica. Según su diseño y la cantidad de energía que genere, un sistema de riego solar incluye un panel solar que suministra electricidad, una bomba que extrae agua del subsuelo y un sistema de distribución. Además, el agua extraída puede almacenarse en un tanque si es necesario (Jara, 2021).

Figura 2

Sistema de bombeo solar directo



Nota. Tomando como referencia la distribución del sistema por Singh et al.(2021).

2.2.2 Bomba sumergible

Este tipo de bombas se colocan dentro del pozo para movilizar el agua hasta un lugar más alto, para almacenarlo en tanques o reservorios. La mayor parte de estas están diseñadas para funcionar con potencias variables que provee el sistema fotovoltaico.

Las bombas sumergibles se dividen en dos clases, las volumétricas y las centrífugas.

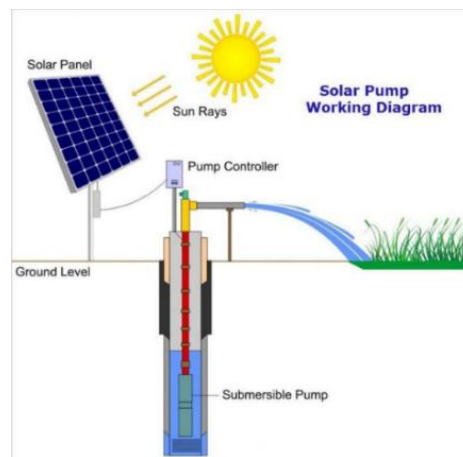
Algunos fabricantes utilizan aceites refrigerantes y otros aprovechan que la bomba está sumergida en agua para estar refrigerados Sosa (2017).

2.2.3 Paneles solares

Este componente tiene la función de suministrar energía eléctrica en forma de corriente directa (DC), su energía que produce depende de la irradiancia que emite el sol. Además, la producción en un tiempo determinado estará ligado las Horas Sol Pico (HSP), se puede dar varias utilidades como suministrar electricidad a una vivienda aislada, bombeo de agua, inyectar a la red, alumbrados público.

Figura 3

Elementos de las instalaciones solares fotovoltaicas



Nota. Adquirido de los procedimientos de instalación de sistema de bombeo solar de Autosolar.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Irradiancia

La irradiancia es un indicador que determina la proporción de energía radiante por área que incide en una superficie en un lugar determinado. Es un indicador de la fuerza de la radiación electromagnética que impacta en una extensión de área. Considerando todos estos parámetros, la irradiancia que incide a un área plano horizontal en la superficie del planeta durante un día soleado al mediodía llega a ser aproximadamente de 1000 W/m². Como se menciona, este valor depende del lugar y principalmente de la nubosidad. La irradiancia se cuantifica en Wats por metro cuadrado (W/m²).

Figura 4

Irradiancia en un cuerpo



Nota. Figura de Lira (2017).

2.3.2 Irradiación

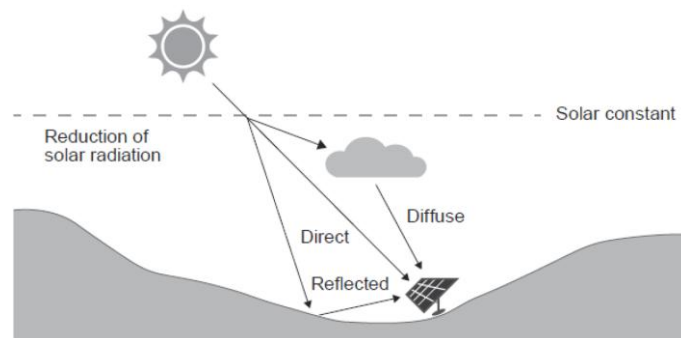
Da a conocer cuanta energía radiante recibe una extensión de área durante un periodo de tiempo. Es una expresión numérica de la energía que impacta en ese plano. La energía en kWh/m² (o en MJ/m²) se calcula al acumular toda la radiación global que llega a los paneles solares en una zona específica durante un intervalo de tiempo determinado (hora, día, mes o año). Este valor varía de acuerdo con la región que se esté considerando.

2.3.3 Componentes de radiación solar

Los componentes de la radiación solar están dados por la energía del sol que llega a la tierra cambia dependiendo a varios factores, por ejemplo, las nubes pueden bloquear parte de esa energía y también influye como se mueve la tierra, como cuando gira o se desplaza alrededor del sol Franco & Pamela (2017). La energía captada por un receptor se divide en tres tipos:

Figura 5

Tipos de radiación solar



Nota. Las distintas radiaciones que inciden en la superficie del panel (Vilches, 2024).

- a. **Radiación directa:** Es la luz que viene linealmente sin desviaciones del sol.
- b. **Radiación difusa:** Es luz solar que se dispersa en el aire y llega desde distintas direcciones, no de forma directa.
- c. **Radiación reflejada:** Es la luz que rebota en el suelo u otras superficies antes de llegar al receptor. La cantidad de esta luz depende de que tanto refleja la superficie, lo que se llama albedo.

2.3.4 Tipos de paneles solares

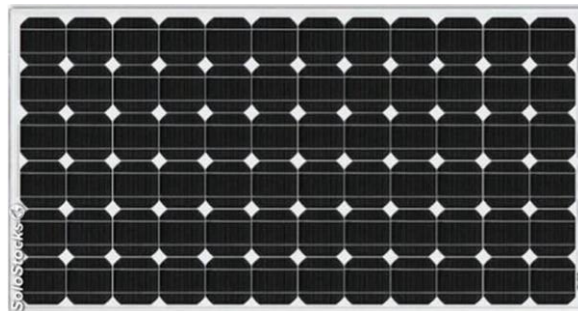
Puede ser difícil entender el funcionamiento de los paneles solares, pero en realidad, son solo dispositivos que usan celdas solares para transformar la luz solar en energía eléctrica. Esto funciona cuando las celdas solares atrapan la luz del sol y debido a un material llamado silicio, convierten esa luz en electricidad (Cardenas, 2021).

a. Monocristalinos.

Los paneles solares monocristalinos de silicio son muy eficientes en el mercado porque son los más antiguos y han experimentado un alto avance tecnológico con el tiempo. Estos paneles se crean utilizando un método llamado Czochralsky y se fabrican comenzando de un solo cristal de silicio puro para ofrecer un alto rendimiento.

Figura 6

Panel solar monocristalino



Nota. Tecnología monocristalina en un panel fotovoltaico (Diaz & Palli, 2021).

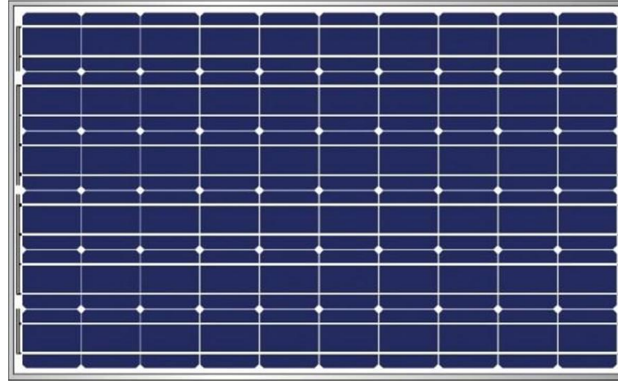
b. Policristalino

Los paneles de esta categoría son los más económicos del mercado, pero no son tan eficientes porque están hechos de muchos cristales de silicio mezclados juntos, lo que los hace menos efectivos que los paneles monocristalinos. A pesar de su menor eficiencia, son una opción asequible, generando entre 5 y 250 vatios o incluso más. Son ideales para

personas que desean utilizar energía solar sin gastar mucho dinero en paneles, y son útiles en hogares y negocios.

Figura 7

Panel solar policristalino



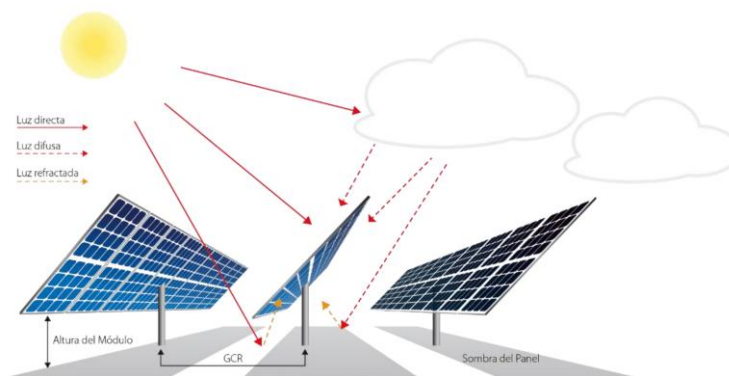
Nota. Tecnología policristalina en un panel fotovoltaico (Diaz & Palli, 2021).

2.3.5 Panel fotovoltaico bifacial

Los paneles bifaciales aprovechan la luz solar por ambos lados del panel, al instalar este tipo de paneles en superficies que reflejan luz pueden llegar hasta más 30% adicional de la potencia de generación a comparación de una sola cara o monofacial, la mayoría de este tipo de paneles tiene células monocristalinas (Picarte, 2019).

Figura 8

Reflexión de la luz en un panel bifacial



Nota. Incidencia de la radiación en un panel bifacial (Picarte, 2019).

2.3.6 Tipos de electrobombas

Las electrobombas más empleadas en aplicaciones de bombeo de agua son las bombas superficiales y las bombas sumergibles. Cada tipo presenta características operativas

específicas, con ventajas y limitaciones que las hacen más apropiadas según las condiciones del sistema hidráulico.

a. Electrobomba superficial

Este tipo de electrobomba es adecuado para bombear fluidos hacia un tanque de almacenamiento. Presenta un costo inicial más bajo que una bomba sumergible y ofrece una instalación y mantenimiento sencillos. Sin embargo, tiene limitaciones importantes como la altura de succión recomendada que es inferior a 7 metros, su eficiencia disminuye considerablemente en pozos profundos, genera mayor ruido y su vida útil es menor. Por estas razones, puede considerarse una opción reemplazable dependiendo de las condiciones de operación.

Figura 9

Electrobomba superficial



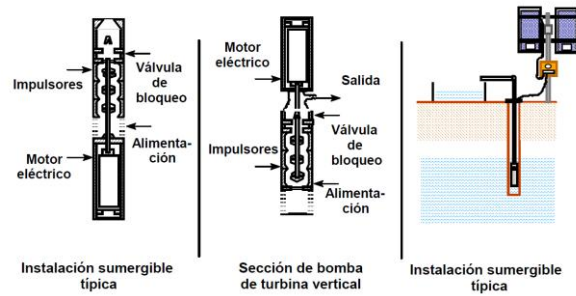
Nota. Adquirido de los catálogos de Autosolar.

b. Electrobomba sumergible

Las electrobombas sumergibles presentan la ventaja de impulsar el fluido desde pozos de mayor profundidad que las bombas superficiales, lo que las hace ideales para aplicaciones en sistemas de suministro de agua en ámbitos rurales, agrícolas o industriales. Además, destacan por su elevada eficiencia hidráulica, que optimiza el consumo energético, y por una vida útil más prolongada debido a su diseño sellado que las protege del desgaste y la corrosión. No obstante, sus principales limitaciones son su mayor costo de adquisición y la necesidad de una instalación y mantenimiento más técnicos y especializados, lo que puede requerir personal calificado y herramientas específicas (Ocampo, 2020).

Figura 10

Bomba sumergible en un sistema de bombeo



Nota. Partes principales de una bomba sumergible (Ocampo, 2020).

2.3.7 Fuente de energía para la electrobomba

a. Inversor convencional

El inversor convencional utilizado en sistemas de bombeo opera a velocidad constante, lo que lo hace poco adecuado para aplicaciones alimentadas con energía solar directa.

Figura 11

Inversor convencional



Nota. Adquirido de los inversores que ofrece Autosolar.

Ante fluctuaciones en la irradiancia debido a variaciones climáticas, este tipo de inversor puede sufrir desconexiones, bajo voltaje o incluso fallas de funcionamiento, ya que no está diseñado para adaptarse a la intermitencia propia de la generación fotovoltaica (Calderón, 2019).

Para garantizar un suministro estable, suele requerir una fuente de respaldo externa, como baterías o un grupo electrógeno, que compense la variación de energía. Por lo que, esta adición representa una mayor inversión inicial, afectando negativamente la rentabilidad

del sistema. Por estas razones, el inversor convencional se considera una alternativa poco fiable y menos eficiente para alimentar máquinas rotativas como una electrobomba, especialmente en zonas con irradiancia variable o sin acceso a energía auxiliar.

b. Inversor variador de frecuencia

El uso de un inversor variador de frecuencia o velocidad en sistemas de bombeo solar brinda una alternativa eficaz y adaptable, ya que permite ajustar la velocidad de la electrobomba dependiendo a la energía que disponemos. Esta capacidad de regulación no solo mejora el aprovechamiento de la energía durante horas de baja irradiancia, sino que también optimiza el rendimiento energético, al evitar que el sistema trabaje a plena carga innecesariamente. Además este tipo de equipos permiten un arranque y parada progresiva del motor, lo que reduce los esfuerzos mecánicos, disminuye el desgaste de componentes y extender la vida útil de la electrobomba.

Figura 12

Inversor variador de frecuencia



Nota. El inversor variador que utiliza Vilca (2021), en su investigación.

Sin embargo, esta tecnología implica ciertos desafíos. Los inversores variadores de frecuencia tienen un precio inicial mayor frente al uso de inversores convencionales, y su instalación y configuración requieren conocimientos técnicos especializados.

2.3.8 Sistema de bombeo solar fotovoltaico

El proceso de un sistema de bomba de agua con energía fotovoltaica implica la conversión de la energía proveniente del solar en electricidad por consiguiente accionar una bomba de agua. Las tecnologías de bombeo solar se consideran una alternativa favorable en comparación con los sistemas de bombeo convencionales que utilizan combustibles provenientes de hidrocarburos, ya que son aceptables en un análisis financiero y tener cuidado con el medio ambiente.

Durante mucho tiempo, en áreas secas y semidesérticas donde no hay ríos o lagos cercanos, la gente dependía de extraer agua del subsuelo para sobrevivir. Ahora, con la energía solar producida por paneles solares, es posible usar esta fuente de energía natural y renovable para bombear agua desde el subsuelo.

Los paneles solares que usamos para sacar agua del suelo han mejorado mucho en términos de cómo funcionan las bombas eléctricas y su sorprendente habilidad para usar una fuente de energía local y sostenible (Gonzales & Lanuza, 2018).

2.3.9 Tecnologías de riego de cultivos

En general en bombeo se considera tres tipos de sistema, los tres tienen ventajas y desventajas como las que mencionamos ahora:

a. Bombeo a combustible

El uso de combustible para bombear agua tiene una estructura simple de funcionamiento lo que lo hace relativamente menos costoso su instalación y puesta en funcionamiento, pero al usar combustible como fuente de energía se genera contaminantes como el gas carbónico (CO_2) y otras emisiones de impacto invernadero que afectan directamente al medio ambiente.

b. Bombeo con sistema fotovoltaico

Lo que lo distingue de las otras maneras de sistema es que es amigable con el medio ambiente ya que su instalación y puesta en marcha tienen un mínimo impacto negativo, pero la desventaja es el costo de instalación que es relativamente caro por tratarse de una tecnología nueva en el ámbito agrícola.

c. Bombeo con energía eléctrica convencional

Podemos considerar este tipo de sistemas por ser el más utilizado para distintos rubros, por ser más barata a comparación de los otros tipos de bombeo, ya que solo necesita la bomba propiamente dicha y componentes eléctricos de seguridad, solo limitándose a depender de la red pública instalada en el lugar, de lo contrario al no contar con este servicio se busca otro tipo de sistema, lo que se asemeja a este tipo de bombeo es por medio de la energía renovable teniendo en algunos casos ventaja sobresalientes.

2.3.10 Métodos de riego

Los métodos de riego se pueden dividir en dos categorías, riego por superficie y riego presurizado. A continuación, se presenta su clasificación correspondiente (Demin, 2014).

a. Riego superficie

- **Tendido**

Es la forma más antigua de riego, la desventaja mayor es que tiene mucha pérdida al distribuir el agua dentro de lote, requiere un caudal lento y continuo.

- **Surco**

En esta clase de riego, el agua es distribuido por zanjas, se requiere una diferencia de altura para que el agua circule.

- **Melga**

El agua es distribuida en una franja de terreno separado con bordes para retener el agua, al igual que riego por tendido tiene la desventaja de consumir mucha agua.

b. Riego presurizado

- **Aspersión**

El riego por aspersión distribuye en agua como de lluvia sobre las plantas, esta viaja por tuberías a presión y al salir por los aspersores se divide en gotas que caen sobre la vegetación.

- **Microaspersión**

El riego por microaspersión libera en agua en gotas muy pequeñas y necesita menos presión que riego por aspersión.

Figura 13

Microaspersión



Nota. Imagen representativa de un microaspersor (Demin, 2014).

- **Goteo**

En riego por goteo suministra agua en pequeñas gotas de forma constante a cada planta, ayudando principalmente al crecimiento de su raíz.

2.3.11 Componentes de un sistema de riego

a. Tipos de tubería para riego

- **Tuberías para sistemas móviles**

La característica principal es que el material debe ser liviano como el aluminio, acero galvanizado, PVC y polietileno (Fernández, 2010).

- **Tuberías para sistemas fijos**

Son de materiales robustos como el acero, fundición, hormigón, plástico, fibrocemento y PVC, uno de los beneficios más notables es el menor costo del material (Fernández, 2010).

b. Accesorios para riego

- **Acoples**

Son componentes complementarios a sistema de conducción de agua para el riego, son necesarios porque sirven como uniones y derivaciones, estos elementos implican pérdidas.

Figura 14

Acoples



Nota. Accesorios para una instalación con tubería HDPE (Ruiz, 2025).

2.3.12 Termomagnético

Estos interruptores poseen un sistema magnético que reacciona de manera rápida frente a sobrecorrientes repentinas, como cortocircuitos, y una protección térmica que se basa en un bimetálico y se activa en caso de sobrecorrientes que ocurren de manera más gradual, como sobrecargas. Su función principal es proteger cada circuito de la instalación, y su propósito principal es garantizar la seguridad de los cables eléctricos al prevenir aumentos peligrosos de temperatura debido a sobrecorrientes (Contreras, 2006).

2.3.13 Cableado

Cuando seleccionas los cables para un sistema eléctrico, debes tener en cuenta varios factores importantes. Estos incluyen cuánta corriente necesitas que los cables transporten, cuánta pérdida de energía puedes permitir y cuánta corriente pueden manejar en caso de un cortocircuito. La elección del tamaño de los cables se basa principalmente en la cantidad de corriente que deben llevar, pero también es necesario tener en cuenta la distancia de cableado.

Figura 15

Selección de electricidad



Nota. Variedad de alambre para conducción de electricidad (Castillo, 2018).

Su flexibilidad está ligada al número de alambres que tiene el conductor, al tener más alambres logra mayor flexibilidad y cuando tiene menos alambre tiende a ser más rígido, por lo que es necesario usar cables que tengan varios alambres en su interior para su fácil manipulación e instalación.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis general

El diseño e implementación de un sistema fotovoltaico es suficiente para suministrar energía a una bomba hidráulica de 1HP destinada para el riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

3.1.2 Hipótesis específica

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico en función de la radiación solar con una potencia de generación de 1830Wp es adecuado para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

El diseño e implementación del sistema de control y protección con un sensor de nivel de agua y un conjunto breaker indispensables para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

La viabilidad económica del sistema fotovoltaico frente a otro tipo de energía convencional es rentable para el funcionamiento de una bomba hidráulica de 1HP destinada al riego agrícola en la localidad de Tacamani a 3820 msnm.

3.2 Metodología

3.2.1 Ámbito del proyecto

a. Ubicación del proyecto

La ubicación del proyecto se detalla con datos referenciales que incluyen información de la localización, estos datos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos de ubicación del proyecto.

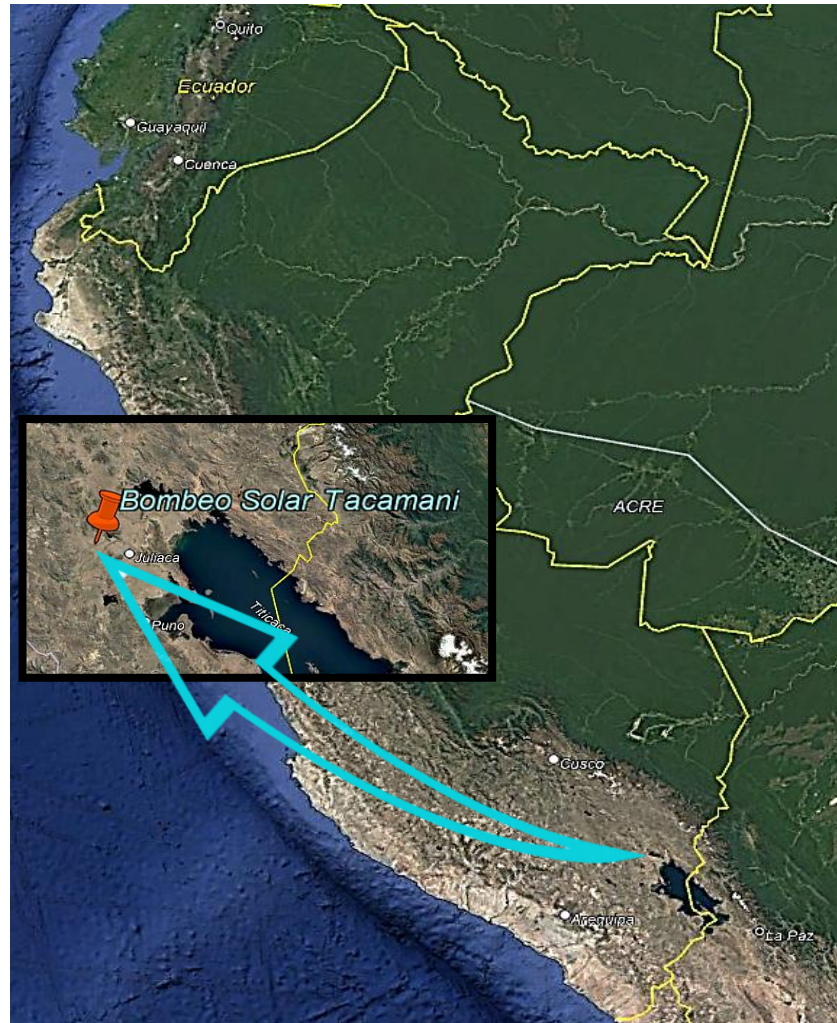
Datos referenciales	
Región	Puno
Provincia	San Román
Distrito	Juliaca
Localidad	Comunidad Campesina de Tacamani
Coordenadas	lat -15.455830 log -70.273574
Altura	3820 msnm

Nota. Elaboración propia.

Estos datos permiten identificar con precisión el sitio donde se desarrolló la instalación.

Figura 16

Ubicación del proyecto bombeo solar



Nota. Localizado con la herramienta de Google Earth Pro.

b. Descripción de la fuente de agua

Con mediciones realizadas en campo, se adquiere las características del pozo en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros del pozo

Parámetros del pozo	
Diámetro	1.5 m
Profundidad total	7.5 m

Nota. Elaboración propia.

c. Descripción del terreno

Las características principales del terreno se dan a conocer en la Tabla 3.

Tabla 3

Características del terreno para el riego.

Características del terreno	
Área	5000 m ²
Cultivo	Alfalfa

Nota. Elaboración propia.

Figura 17

Cultivo de alfalfa en la comunidad Tacamani



Nota. Elaboración propia.

3.3 Tipo, nivel y diseño de investigación

3.3.1 Tipo de investigación

El tipo investigación es aplicada no experimental porque no implica la manipulación o control de variables, dado que se implementa un sistema de bombeo solar en condiciones reales, como alternativa al uso de una fuente de energía a base de un hidrocarburo (gasolina). Esta intervención permite evaluar dicho sistema y sus efectos sobre el desempeño hidráulico y la factibilidad económica.

3.3.2 Nivel de investigación

Se considera una investigación aplicada porque se centra en el uso y la puesta en práctica de conocimientos teóricos para dar solución a un problema real o mejorar una situación existente. En este caso, se dimensionó e implementó un sistema fotovoltaico destinado a accionar una bomba hidráulica destinada al riego agrícola (alfalfa), usando la energía solar como fuente renovable.

3.3.3 Diseño de la investigación

Utilizamos un diseño de la investigación descriptivo, porque se examinó la situación investigada desde la evolución del potencial solar de comunidad Tacamani hasta el análisis y comprensión de los resultados a través de cálculos y datos de funcionamiento correspondientes.

3.3.4 Población y muestra

a. Población

La población de estudio está constituida por una familia beneficiaria del proyecto de bombeo solar, ubicada en el centro poblado de Tacamani, región Puno. Esta familia fue seleccionada por representar las condiciones típicas de los pequeños agricultores de la zona, quienes dependen del riego para su producción agrícola.

b. Muestra

Nuestra muestra está conformada por el área de cultivo de media hectárea, Esta elección se hizo de acuerdo al muestreo por conveniencia del método no probabilístico (Hernández & Carpio, 2019), ya que tenemos un área representativo típico que tienen las familias rurales de la C.C. Tacamani, dicha área es importante para determinar la demanda hídrica para cultivos agrícolas.

3.3.5 La observación

Se utilizó la observación para adquirir conocimiento sobre una técnica adecuada para dimensionar luego implementar un sistema de bombeo solar, además de identificar los beneficios más notables que brinda esta tecnología. Un paso fundamental en el proceso de dimensionamiento consiste en recurrir a una base de información confiable, que permita obtener registros de parámetros como la irradiación solar y la temperatura. Con estos datos, se procede a determinar el caudal de agua que se requiere para la plantación, lo que a su vez posibilita garantizar la energía eléctrica esencial para el correcto desempeño del sistema de bombeo.

3.3.6 Horas Sol Pico

Es la cantidad de horas en las que se asume una irradiancia solar permanente de 1000 W/m² sobre los paneles solares. En términos simples, una hora sol pico corresponde a 1 kWh/m² o equivalente, 3.6 MJ/m². En resumen, es una manera de medir la energía que llega

de nuestra estrella, agrupándola en intervalos de tiempo, donde cada intervalo de una hora recibe una irradiancia de 1000 W/m² (Pérez, 2019).

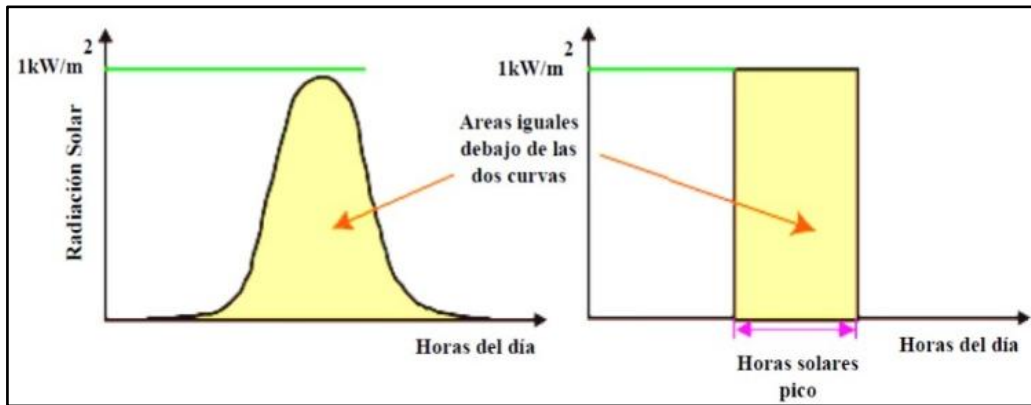
$$HSP = \frac{\text{Irradiación Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (1)$$

Donde:

HSP : Horas Sol Pico (h)

Figura 18

Horas Sol Pico



Nota. Fundamento de Horas Sol Pico (Mejía, 2018).

3.3.7 Caudal

Esta referido a la cantidad de agua que la bomba puede extraer y suministrar en un tiempo determinado, utilizando energía solar como fuente de alimentación. Se expresa en litros por minuto (l/min), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por hora (m³/h).

El caudal depende de la potencia que suministra la bomba, la altura hidráulica o total (H_T) y horas sol pico (HSP). Un sistema bien diseñado debe garantizar un caudal lo bastante para abastecer de agua el cultivo, optimizando el consumo energético y la eficiencia del riego.

$$Q = \frac{\text{Demanda de agua}}{HSP} \quad (2)$$

Donde:

Q : Caudal (m³/s)

3.3.8 Altura hidráulica

La altura hidráulica, también denominada carga estática total, hace referencia a la energía que la bomba debe suministrar para impulsar el fluido desde un nivel inicial (A) hasta otro nivel final (B) situado a distintas alturas. El presente parámetro es fundamental en el dimensionamiento de sistemas de bombeo (Huallpa, 2022).

$$H_T = H_P + H_A + P_t + P_a \quad (3)$$

Donde:

H_T : Altura total (m)

H_P : Altura de bombeo (m)

H_A : Presión de aspersores representado en altura (m)

P_t : Pérdidas por fricción en tubería (m)

P_a : Pérdidas por tipo de accesorios (m)

3.3.9 Altura dinámica para los aspersores

Es la presión requerida en los aspersores para que funcionen correctamente, generalmente en unidades de bar.

$$P = \rho * g * H_A \quad (4)$$

Donde:

P : Presión (bar)

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

g : Gravedad (m/s^2)

H_A : Presión de aspersores representado en altura (m)

3.3.10 Pérdidas en el sistema

Son factores críticos que afectan a la eficiencia del sistema. Estas pérdidas se dividen en dos categorías principales, las pérdidas por resistencia al movimiento en la tubería de acuerdo a que tipo de tubería se utiliza para su análisis o instalación y las pérdidas en accesorios como los codos, tees y válvulas.

3.3.11 Número de Reynolds

Los investigadores Ordoñez & Quisnancela (2013), comprobaron que el tipo de flujo

en tuberías (uniforme y caótico) está sujeto al grosor de la tubería, la densidad del líquido, la viscosidad y la velocidad que recorre al agua. La combinación adimensional de estos parámetros es conocido como el Número de Reynolds. Este valor se determina con la siguiente formula.

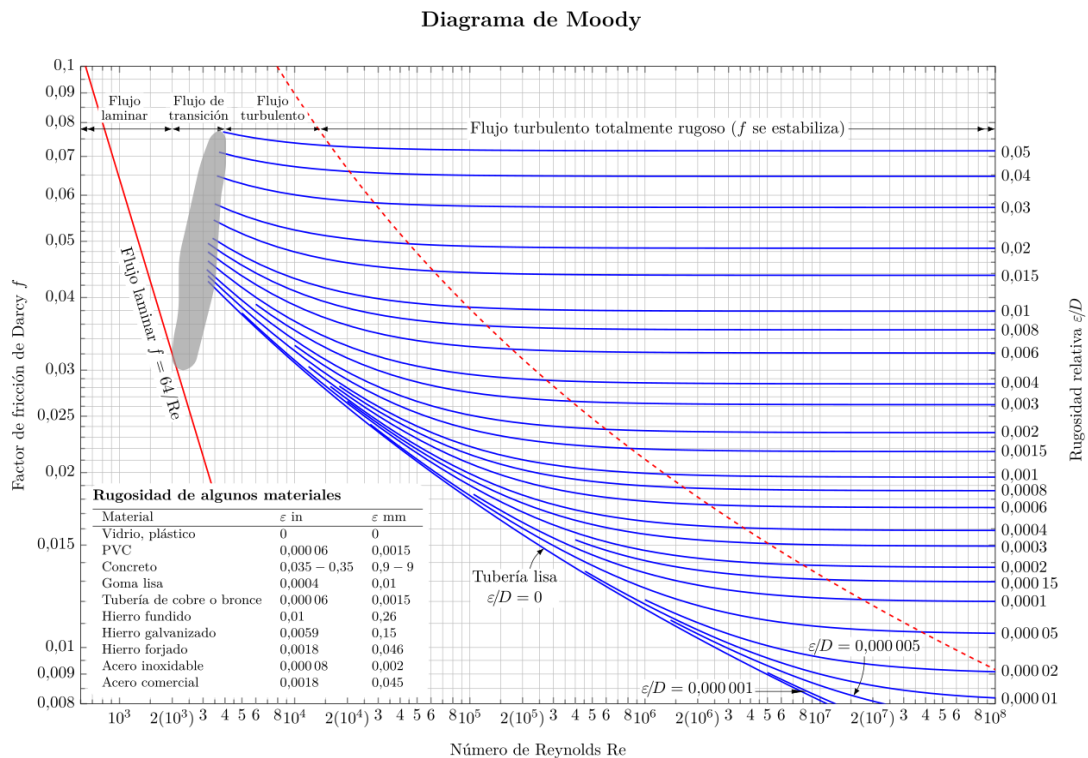
$$Re = \frac{v \times D \times \rho}{\mu} = \frac{v \times D}{\vartheta} \quad (5)$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds
- v : Velocidad promedio del fluido (m/s)
- D : Diámetro de la tubería (m)
- ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)
- μ : Viscosidad dinámica ($kg/m*s$)
- ϑ : Viscosidad cinemática (m^2/s)

Figura 19

Diagrama de Moody



Considerando la fórmula de Darcy – Weisbach se debe utilizar la Figura 19 para ubicar el coeficiente de rozamiento “ f ” según el Número de Reynolds.

3.3.12 Pérdidas por fricción en la tubería

Estas pérdidas, denominadas como pérdidas de carga o carga dinámica, se deben al rozamiento y que tan agitado está el fluido en la trayectoria a través de ductos o tuberías. Pues esto depende principalmente del factor de fricción, la longitud y el grosor de la tubería, el tipo de fluido que se bombea y la rapidez del fluido. Las pérdidas por fricción en ducto se calculan utilizando el método de Darcy-Weisbach (Huallpa, 2022).

$$P_t = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2 \times g} \quad (6)$$

Donde:

- P_t : Pérdidas por fricción en la tubería (m)
- f : Coeficiente de rozamiento
- L : Longitud de tubería del mismo diámetro (m)
- v : Velocidad promedio del fluido
- D : Diámetro interior de la tubería (m)
- g : gravedad (m/s^2)

La velocidad del fluido se determina con la siguiente ecuación.

$$v = \frac{4 \times Q \text{ m}^3/s}{\pi \times (D \text{ m})^2} \quad (7)$$

Donde:

- Q : Caudal
- D : Diámetro interior de la tubería (m)

3.3.13 Pérdidas por fricción en accesorios

Se trata de la pérdida de energía que se manifiestan en una zona reducida cerca del lugar donde hay un cambio en la geometría del conducto o en la dirección del flujo, como en codos, tees, válvulas, entre otros. Esto genera una alteración en las condiciones del flujo. A estas pérdidas también se les conoce como pérdidas menores, aunque este término puede ser engañoso, ya que en muchos casos pueden ser más significativas que las pérdidas por fricción. Estas pérdidas pueden calcularse mediante la siguiente ecuación (Ordoñez & Quisnancela, 2013).

$$P_a = \frac{K \times D}{F_t} \quad (8)$$

Donde:

P_a : Pérdidas por fricción en los accesorios (m).

K : Coeficiente de resistencia de los accesorios.

D : Diámetro interior de la tubería (m).

F_t : Factor de fricción.

El coeficiente de resistencia está dado por la siguiente ecuación.

$$K = L_e/D * f_t \quad (9)$$

Donde:

L_e/D : Longitud equivalente en el diámetro conducto

f_t : Factor de fricción

3.3.14 Energía hidráulica de electrobomba

Es la energía como parte del fluido, ya sea almacenado o transportado, está determinada de la siguiente manera (Dávalos, 2019).

$$E_H = 2.725 \times H_T \times Q \quad (10)$$

Donde:

E_H : Energía hidráulica (Wh/día).

H_T : Altura total (m).

Q : Caudal diaria ($m^3/día$)

3.3.15 Potencia hidráulica de la electrobomba

Para nuestro diseño del sistema de bombeo se requiere calcular potencia hidráulica o teórica para desplazar el fluido, de acuerdo al caudal, altura hidráulica total y la densidad del fluido (Vilca, 2021).

$$P_{HB} = H_T \times \gamma \times Q \quad (11)$$

Donde:

P_{HB} : Potencia hidráulica (kW)

Q : Caudal (m^3/s)

H_T : Altura Total (m)

γ : Peso específico 9.81 (kN/m^3)

3.3.16 Potencia eléctrica de la electrobomba

Es la potencia que toma del sistema eléctrico (inversor variador), para accionar el motor que impulsa el agua (Dávalos, 2019).

$$P_E = \frac{P_{HB}}{\eta_B} \quad (12)$$

Donde:

P_E : Potencia eléctrica de la electrobomba (kW)

η_B : Eficiencia de la electrobomba (%)

3.3.17 Energía requerida para el dimensionamiento del generador fotovoltaico.

Es el valor máximo de potencia que el arreglo fotovoltaico deben entregar diariamente a fin de asegurar el correcto desempeño de la electrobomba (Dávalos, 2019).

$$E_{Pd} = \frac{E_H}{\eta_B} \quad (13)$$

Donde:

E_{Pd} : Energía necesaria para el dimensionamiento del generador (W)

E_H : Energía hidráulica (Wh/día)

η_B : Eficiencia de la electrobomba (%)

3.3.18 Potencia del generador

La potencia del generador es un parámetro esencial, ya que facilita calcular la cantidad de energía necesaria que deberá ser suministrada por los paneles solares, se tiene en cuenta un factor de seguridad de un 20 % para adicionar confiabilidad en circunstancias adversas como baja irradiación o nubosidades, un KT de 0.7 al tener un inversor variador y rendimiento del sistema de un 0.9 según Dávalos (2019).

$$P_G = f.s \frac{E_{Pd}}{0.9 \times HSP \times KT} \quad (14)$$

Donde:

P_G : Potencia del generador

$f.s$: Factor de seguridad

KT : Factor de corrección debido al tipo de controlador o equipo de conversión

HSP : Horas Sol Pico

3.3.19 Corrección por temperatura de características del panel

a. Corrección de Voc por temperatura

Voc corregido es el voltaje máximo de un panel fotovoltaico, cadena fotovoltaica o de un subgrupo fotovoltaico sin carga (circuito abierto) calculada por la siguiente fórmula según la normativa española (UNE 60364-7-712, 2017).

$$V_{OC_corr} = K_U \times V_{oc\ STC} \quad (15)$$

Donde:

- V_{OC_corr} : Voltaje máximo corregido (V)
 K_U : Factor de corrección
 $V_{oc\ STC}$: Voltaje en condiciones estándar (V)

Para dicho cálculo se requiere primero determinar K_U y de esa manera corregir el voltaje en circuito abierto a la temperatura mínima en el lugar donde se establece el arreglo.

$$K_U = 1 + ((\alpha_{Voc}/100)(T_{min} - 25)) \quad (16)$$

Donde:

- K_U : Factor de corrección
 α_{Voc} : Coeficiente de temperatura para Voc (%/°C)
 T_{min} : Temperatura mínima (°C)

b. Corrección de Isc por temperatura.

La corriente corregida por temperatura, a comparación de la tensión de circuito abierto el valor de la corrección de la corriente de cortocircuito, se usa la temperatura máxima del histórico del lugar.

$$I_{SC_corr} = K_I \times I_{sc\ STC} \quad (17)$$

Donde:

- I_{SC_corr} : Corriente máximo corregido (A)
 K_I : Factor de corrección
 $I_{sc\ STC}$: Corriente en condiciones estándar (A)

$$K_I = 1 + (\alpha_{Isc}/100)(T_{máx} - 25)$$

(18)

Donde:

K_I : Factor de corrección

α_{Isc} : Coeficiente de temperatura para Isc (%/°C)

T_{min} : Temperatura máxima (°C)

c. Corrección de Pmp por temperatura.

La potencia (Pmp) es proporcional a las otras correcciones, esta potencia es necesaria para determinar si la energía en el lado dc es admitida por el variador, al igual que la corriente se usa la temperatura máxima del historial del lugar de instalación.

$$P_{PMP_corr} = K_P \times P_{PMP_STC} \quad (19)$$

Donde:

P_{PMP_MAX} : Potencia máximo corregida (Wp)

K_P : Factor de corrección

P_{PMP_STC} : Corriente en condiciones estándar (Wp)

$$K_P = 1 + (\alpha_{PM}/100)(T_{m\acute{a}x} - 25) \quad (20)$$

Donde:

K_P : Factor de corrección

α_{PM} : Coeficiente de temperatura para Pmax (%/°C)

T_{min} : Temperatura máxima (°C)

3.3.20 Número de paneles fotovoltaico

La cantidad de paneles fotovoltaicos está de acuerdo a producción requerida de energía suficiente para que un sistema funcione, se calcula según la potencia de generación entre la potencia del panel a la temperatura máxima Dávalos (2019).

$$N_M = \frac{P_G}{P_{PMP_corr}} \quad (21)$$

Donde:

N_M : Número de paneles fotovoltaicos.

P_G : Potencia real de funcionamiento (W).

P_{PMP_corr} : Potencia máxima corregida (Wp).

a. Número de paneles en serie

$$N_{serie} = \frac{V_{NV}}{V_{MP}} \quad (22)$$

Donde:

N_{serie} : Número de paneles en serie.

V_{NV} : Voltaje nominal del variador (V).

V_{MP} : Voltaje en máxima potencia del panel (V).

b. Número de paneles en paralelo

$$N_{paralelo} = \frac{P_G}{P_{PMP_corr} \times N_{serie}} \quad (23)$$

Donde:

$N_{paralelo}$: Número de paneles en paralelo.

P_G : Potencia del generador (W).

N_{serie} : Número de paneles en serie.

P_{PMP_corr} : Potencia máximo corregida (W).

c. Número total de paneles fotovoltaicos

Para comprobar si el número total de paneles fotovoltaicos coincide con el valor obtenido en la Ecuación (21), es necesario calcularlo mediante el producto entre la cantidad de paneles en string y la cantidad de paneles conectados en paralelo. Esta verificación permite garantizar que el dimensionamiento realizado sea coherente con los parámetros de diseño establecidos, asegurando así que el sistema fotovoltaico cumpla con los requerimientos de potencia y energía proyectados.

$$N_{total.m} = N_{serie} \times N_P \quad (24)$$

Donde:

$N_{total.m}$: Número total de paneles.

N_{serie} : Número de paneles en serie.

$N_{paralelo}$: Número de paneles en paralelo.

3.3.21 Inclinación del panel fotovoltaico

La inclinación óptima que el panel fotovoltaico debe tener según un análisis estadístico de la radiación solar anualmente en un plano superficial a diferentes grados de inclinación en cualquier lugar es calculado con la siguiente ecuación (Castejon & Santamaria, 2010).

$$\beta_{opt} = 3.6 + 0.69 \times |\phi| \quad (25)$$

Donde:

β_{opt} : Ángulo óptimo en el panel fotovoltaico

$|\phi|$: Latitud del lugar de instalación

3.3.22 Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para la electrobomba

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se estimó el recurso solar disponible en la zona utilizando la plataforma NASA POWER. Asimismo, se determinó el caudal requerido. Con esta información, se calculó la potencia necesaria que requiere la electrobomba para satisfacer dicho caudal, considerando las pérdidas de carga en la tubería y accesorios. A partir de estos datos, se definió la cantidad de paneles solares requeridos considerando el efecto que tiene la temperatura, conforme a lo establecido en la normativa española UNE 60364-7-712 (2017) y los parámetros técnicos admitidos por el inversor variador.

3.4 Diseño de sistema de control y protección

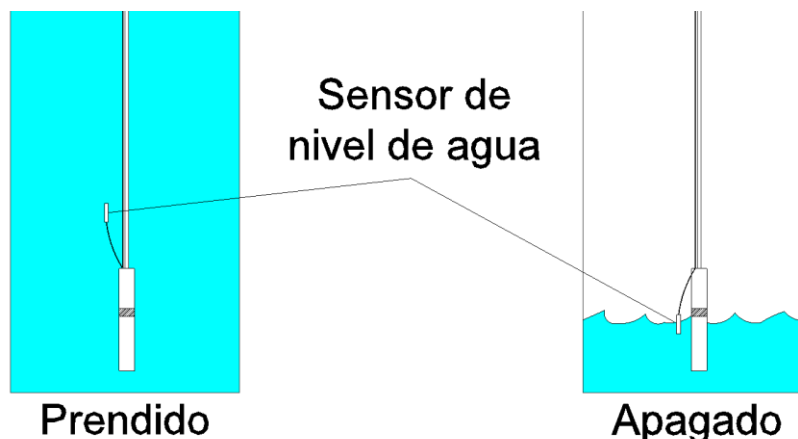
3.4.1 Diseño de sistema de control

Se incorpora un sensor de nivel de agua como parte del sistema de control. El inversor variador de frecuencia debe ser compatible con este tipo de señal o debe integrarse un componente adicional de control que permita su correcto funcionamiento.

Este dispositivo puede operar en dos configuraciones, normalmente cerrado (NC) o normalmente abierto (NA). En la programación manual se establece que el sensor de nivel de agua necesita funcionar en modo normalmente cerrado cuando es instalado en un pozo, con el fin de evitar que la electrobomba opere en caso de que no haya suficiente nivel de agua.

Figura 20

Funcionamiento de sensor de nivel de agua



Nota. Elaboración propia.

3.4.2 Diseño de sistema de protección

A fin garantizar el funcionamiento seguro y continuo del sistema de bombeo solar, se ha considerado la incorporación de dispositivos de protección esenciales que permitan prevenir daños ocasionados por sobrecorriente, sobretensiones y fallos eléctricos, El rango de funcionamiento de estos dispositivos se seleccionó de acuerdo con la Normativa Europea IEC 62548 (2017).

A continuación, se describen los dispositivos de protección indispensables a instalar en el sistema de bombeo solar:

a. Portafusibles y fusibles

Dispositivo utilizado para mantener seguro del efecto de sobrecorrientes en la entrada del inversor variador. Su funcionamiento se activa cuando se detecta un exceso de corriente y se instala en ambos polos del circuito, el valor de corriente obtenido en el arreglo fotovoltaico debe ser superior.

$$I_{nf} > 1.25 \times N_{paralelo} \times I_{SC_{corr}} \quad (26)$$

Donde:

I_{nf} : Corriente nominal del fusible (A).

$I_{SC_{corr}}$: Corriente máximo corregido (A).

$N_{paralelo}$: Número de paneles en paralelo.

b. Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS)

Este dispositivo es fundamental para proteger los componentes instalados, ya que evita daños causados por sobretensiones. Solo se requiere un DPS, ya que está diseñado para proteger ambos polos del string, Para determinar el parámetro de voltaje que debe soportar el DPS, primero se estima la tensión del string en función del número de paneles conectados en serie.

$$V_{max_string_corr} = N_{serie} \times V_{OC_corr} \quad (27)$$

Donde:

$V_{max_string_corr}$: Voltaje del string con corrección de temperatura.

$N_{paralelo}$: Número de paneles en paralelo.

V_{OC_corr} : Voltaje máximo corregido (V)

Por lo tanto, el voltaje que soporta el DPS:

$$V_{DPS} \geq V_{max_string_corr} \quad (28)$$

c. Termomagnético dc

Su función principal en el sistema es proteger contra cortocircuitos y fugas eléctricas. Se instala un único interruptor termomagnético en la entrada del inversor variador, este dispositivo debe tener una capacidad de:

$$V_t \geq V_{max_string_corr} \quad (29)$$

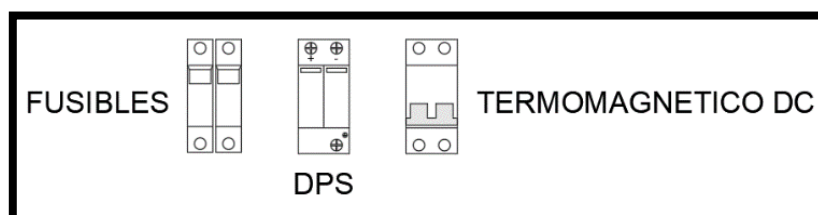
Donde:

V_t : Voltaje que accionamiento del termomagnético.

$V_{max_string_corr}$: Voltaje del string con corrección de temperatura.

Figura 21

Dispositivos de protección



Nota. Elaboración propia.

El sistema de control y protección forma parte integral del proceso de instalación del sistema por lo que es crucial incorporar estos dispositivos que cumplan con este propósito, con una base normativa como la IEC.

3.4.3 Metodología para el diseño del sistema de control y protección

Para nuestro sistema de control y protección se identificaron los principales riesgos eléctricos e hidráulicos que podrían afectar la operación, como sobrecargas, cortocircuitos y accionamiento en seco de la bomba hidráulica. Con base en este análisis, se diseñó un tablero de control y protección que incluye dispositivos como un interruptor termomagnético, fusibles de protección y un protector contra sobretensiones con base a la Normativa Europea IEC 62548 (2017), y un sensor de nivel de agua.

3.5 Viabilidad económica

Considerando la inversión inicial, podemos determinar qué tan viable es el proyecto a comparación de una tecnología más convencional, como la utilización de una bomba alimentado de la red comercial, para lo cual se utilizará los indicadores TIR y VAN y el periodo de recuperación Pay-Back donde tomo como referencia un valor de 12% de tasa de oportunidad (Quispe, 2021).

3.5.1 Valor actual neto (VAN)

El indicador de valor actual neto está determinado por la sumatoria de los valores actuales de todos los flujos de valores estimados, este indicador valida o rechaza la viabilidad económica del proyecto, es conveniente que el VAN se mayor que 0 para que sea aceptable, dicho indicador puede calcularse por la siguiente formula:

$$VAN = -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{Ingreso - Egreso}{(1 + i)^n} ; -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + i)^n} \quad (30)$$

Donde:

I_o : Inversión inicial del proyecto

n : Número de periodos de evaluación

FNE : Flujo neto de efectivo correspondiente a cada periodo

i : Tasa de descuento

3.5.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador mide la rentabilidad del proyecto, podría definirse que es la tasa de descuento hace que el Valor Actual Neto de una inversión que sea igual a cero. Es conveniente que el valor del TIR sea superior a la tasa de descuento de referencia.

$$0 = -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n} \quad (31)$$

Donde:

I_o : Inversión inicial para el proyecto

n : Periodo de evaluación (años)

FNE : Flujo neto de efectivo vinculado a cada periodo

3.5.3 Periodo de recuperación (PAY-BACK)

Es el tiempo de devolución de la inversión inicial, se considera como un indicador de riesgo ya que a más tiempo de retorno la incertidumbre se incrementa, a menos tiempo de retorno se considera un proyecto muy rentable.

$$PAY\ BACK = \left[\begin{array}{l} \text{último período con flujo} \\ \text{acumulado negativo} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{valor absoluto del último} \\ \text{flujo acumulado negativo} \\ \text{valor de flujo de caja en el} \\ \text{siguiente período} \end{array} \right] \quad (32)$$

3.5.4 Metodología para el análisis de la viabilidad económica

Para el análisis económico de nuestro proyecto se estableció la inversión inicial, los ingresos provenientes de la venta de forraje (alfalfa) y los egresos asociados al mantenimiento, pago de personal para el corte, empacado y transporte para su comercialización. Con esta información se elaboró un flujo de caja calculado a 15 años, a partir del cual se calcularon los principales indicadores de rentabilidad, el Valor Actual Neto (VAN), tomando en cuenta una tasa de descuento del 12%, Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de retorno de nuestra inversión (Payback).

3.6 Materiales y equipos

3.6.1 Bomba hidráulica sumergible

Se evaluaron tres diferentes opciones de bombas sumergibles basadas en la disponibilidad en el mercado, altura máxima y caudal, revisando las fichas características de

proveedores más comunes para proyectos de bombeo solar y bombeo convencional, se considera también que la tecnología empleada en la electrobomba sea de multietapa. En este caso las bombas sumergibles de marcas Pedrollo, Difful y Lorentz predominan.

En la Tabla 4, se realizó una comparativa de las tres marcas diferentes, previa cotización, recomendaciones y características destacables que nos brindan los distintos proveedores locales de la ciudad de Juliaca. En la Figura 22, da a conocer que las marcas de Difful y Lorentz requieren su propio controlador.

Tabla 4

Comparativa de bombas Pedrollo, Difful y Lorentz.

Característica	Pedrollo	Difful	Lorentz
Costo	Medio	Medio – Bajo	Alto
Fuente de energía	Convencional, solar	Solar	Solar
Mantenimiento	Moderado	Alto	Bajo
Rendimiento	Buena altura y caudal	Bueno en aplicaciones básicas	Eficiente pero menor capacidad (altura y caudal)
Vida útil (años)	8 -15	5 – 10	10 - 20
Disponibilidad de repuestos	Amplia disponibilidad	Limitada	Limitada (Especializada)

Nota. Elaboración propia.

Figura 22

Bombas sumergibles Pedrollo, Difful y Lorentz



Nota. Figuras de sus propios catálogos.

3.6.2 Panel fotovoltaico

Según el ranking BloombergNEF (2024), que es una plataforma con gran prestigio

donde permite adquirir análisis de mercados, se menciona que en el último trimestre del 2024 los fabricantes de paneles fotovoltaicos Longi solar, Trina solar y Jinko solar lideran las primeras posiciones, considerados fabricantes más confiables y Tier 1 por dicho ranking. Se hace una comparativa de estos fabricantes según costo beneficio.

Tabla 5

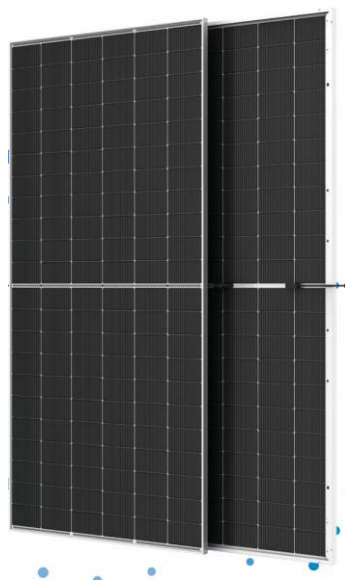
Comparativa de paneles fotovoltaicos.

Características	Longi solar	Trina solar	Jinko solar
Origen	China	China	China
Tecnología	Monocristalino PERC Bifacial	Monocristalino PERC Bifacial	Monocristalino PERC Bifacial
Eficiencia	19.5% - 21.5%	19.5% - 21.5%	19.8% - 22.0%
Potencia	535 W – 600 W	550 W – 670 W	535 W – 625 W
Precio USD/W	0.24 – 0.29	0.25 – 0.30	0.25 – 0.30
Coefficiente de Tem.	-0.35 %/°C	-0.34 %/°C	0.35 %/°C

Nota. elaboración propia.

Figura 23

Panel fotovoltaico Bifacial Trina solar



Nota. Figura de la ficha técnica de los productos de Trina solar TSM-NEG19RC.20.

El fabricante Longi Solar se destaca principalmente por ofrecer paneles fotovoltaicos con una excelente relación costo beneficio, siendo una opción competitiva en términos de precio. Por su parte, Trina Solar resalta por las altas potencias nominales de sus paneles y un coeficiente de temperatura más bajo en comparación con otros fabricantes, lo que se traduce

en un mejor desempeño en condiciones de alta irradiancia y temperatura. En tanto, Jinko Solar es reconocido por su alta eficiencia de conversión, lo que permite generar más energía en un área reducida.

En particular, los paneles de la marca Trina Solar son una opción excepcional debido a que están clasificados como Tier 1 en el ranking de Bloomberg, lo que garantiza confiabilidad financiera y solidez tecnológica del fabricante. Además, Trina cuenta con una fuerte presencia entre los proveedores locales en la región de Puno, lo cual facilita el soporte técnico, la disponibilidad del producto y el servicio postventa.

3.6.3 Inversor variador de frecuencia

Este equipo electrónico resulta fundamental, ya que permite un arranque progresivo del sistema, evitando picos de corriente que podrían dañar la electrobomba. Además, optimiza el aprovechamiento de la energía disponible. En el mercado existen diversas marcas que ofrecen soluciones específicas para sistemas de bombeo solar. Es importante destacar las principales características técnicas que estos equipos presentan, tales como: la potencia requerida en los paneles solares para su correcto funcionamiento, el voltaje admitido del arreglo fotovoltaico, la corriente máxima de entrada que pueden recibir, así como las protecciones integradas que incluye cada solución.

Se presentan algunas alternativas de solución ofrecidas por las marcas Hober, INVT y Quadro, las cuales comparten características similares en cuanto a funcionamiento, pero difieren en sus requerimientos y parámetros de entrada, tales como la potencia, el voltaje y la corriente admitida.

Figura 24

Ficha técnica de inversores variadores INVT

Model	-S2		-S2		-2		-4	
AC input voltage (V)	220(-15%)~240(+10%) (1PH)				220(-15%)~240(+10%) (3PH)		380(-15%)~440(+10%) (3PH)	
Max. DC input voltage (V)	440	500	440	500	440	500	800	900
Start-up voltage (V)	200		200		200		300	
Lowest working voltage (V)	150		150		150		250	
Recommended DC input voltage range (V)	200~400		200~400		200~400		300~750	
Recommended MPP voltage (V)	330		330		330		550	
Rated output voltage (V)	220 (1PH)		220 (3PH)		220 (3PH)		380 (3PH)	
Output frequency range (Hz)	0~400							
MPPT efficiency	99%							
Installation method	Wall mounting/Rail mounting/Flange installation.							
Environment parameters	-10°C~+50°C, When the ambient temperature exceeds 40°C, derate 1% for every increase of 1°C.							
Altitude	Lower than 1000m, When the altitude exceeds 3000m, consult the local INVT dealer or office.							
Cooling manner	Fan cooling							
Protection level	IP20; IP54 Cabinet (Options)							

Nota. Características del catálogo INVT 0.5-680 HP.

Figura 25

Ficha técnica de inversores variadores QUADRO

MODEL	2.2 KW LS	2.2 KW	7.5 KW	11 KW
RATED OUTPUT POWER	2200 W(3HP) (supports 0.75-3HP water pump)	2200 W(3HP) (supports 0.75-3HP water pump)	7500 W(10HP) (supports 3-10HP water pump)	11000 W(15HP) (supports 10-15HP water pump)
PV INPUT (DC)				
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	320 VDC / 450 VDC		540 VDC / 800 VDC	
Start-up Voltage	120 VDC		250 VDC	
MPPT Voltage Range	120 VDC ~ 420 VDC		250 VDC ~ 780VDC	
Number of MPP Trackers	1			
AC INPUT				
Input Voltage	220/230/240 VAC (-15% ~ +10%)		N/A	
Input Frequency	47 Hz ~ 63 Hz		N/A	
OUTPUT				
Nominal Voltage	220/230/240 VAC		3 x 380/400/415/440 VAC	
Efficiency	> 97%		> 97%	
Nominal Output Current	14 A	10 A	5.0 A	22 A
Motor Type	Single-phase motor	Three-phase asynchronous motor	Three-phase asynchronous motor	
Frequency Precision	±0.2%			
PROTECTION				
Full Protection	Phase lost, dry pumping, motor locked, weak sunlight, over-voltage, under-voltage, over-current, surge, over-temperature and short circuit protection			
PHYSICAL				
Dimension, D X W X H (mm)	110 x 230 x 342			
Net Weight (kgs)	5	5.5	6	6.5
IP Protection	IP20			
INTERACE				
Communication Port	RS-232/RS-485			
ENVIRONMENT				
Humidity	< 95% RH (Non-condensing)			
Operating Temperature	-20°C-45°C at 100% full load, 46°C-60°C power derating			

Nota. Características del catálogo Quadro 1-15 HP.

Figura 26

Ficha técnica de inversores variadores HOBBER

Technical Specifications				
Model	HSPH750LB	HSPH1500LB	HSPH1500L	HSPH2200L
Solar Input				
Max Voc Voltage	450V			
Min Vmp Voltage	80V	120V	200V	
Recommend Vmp Voltage	100Vmp<DC Input<430Voc (Built-in booster)	160Vmp<DC Input<430Voc (Built-in booster)	300Vmp<DC Input<430Voc (Only Solar Input) 340Vmp<DC Input<400Voc (Hybrid Power Input)	
Max MPPT Efficiency	99%			
Max Input Current	18 A	18 A	10 A	11 A
Number Of Strings	1			
Inside Booster	YES	YES	N	N
Hybrid AC Input				
Voltage	220/240V 1-Phase			
Rated Input Current	7 A	12.5A	7A	15A
Hybrid Mode	N	N	Automatic: AC supplement automatic while solar low power and AC disconnect automatic while	
AC Output For Pump(AC Induction Motor)				
Max Adapted AC Pump Horse Power	1 HP	2HP	2 HP	3 HP
Max Adapted AC Pump Power	750W	1500W	1500 W	2200 W
Phase	Single Phase(1 phase) / 3Phase (Compatible)			
Max Output voltage	220 / 240 V			
Max Output frequency	50 ~ 60 Hz			
Rated Output Current	7 A	13A	12A	16 A
Other Characters				
Max Efficiency	97%			
Water level Sensor(well / tank)	Yes			
4G/Wifi Monitor&Controller	Support (Optional)			
Display	LCD Display (128*64)			
Waterproof	IP65			
Noise	< 50dB			
Cooling Method	Natural Cooling	Force Cooling by Fan (IP68)		
Protection	Solar DC input Low/Over Voltage Solar DC Input Reverse Polarity AC Output Short-circuit AC Output Over Current Over Temperature Over Load Over Flow of Tank Against Lightning AC Output Phase Lose(3Phase) AC Output Unbalance(3Phase) Dry-Run (detecting by Sensor or Software)			
Operating Environment				
Operating environment temperature	-10 to 60°C, Above 60°C need to derate load			
Max Humidity	95%RH			
Using altitude	< 3000m, Above 3000m need to derate load			
Prohibiting the installation location: direct sunlight, thick dust, corrosive gas or oil mist, flammable gas, liquid,etc				
Package				
Size (L*W*H)	400*310*200mm	480*300*200mm	400*310*200mm	
Weight	6KG	8KG	6KG	6KG

Nota. Características del catálogo Hober 1-3HP.

Al observar las especificaciones técnicas de los inversores variadores, se pueden identificar con mayor precisión los parámetros esenciales que garantizan su correcto desempeño. Entre estos destacan el rango de tensión de operación que admite cada equipo, el amperaje en corriente continua permitido en la entrada de cada inversor variador, así como los grados de protección (IP) que indican su resistencia a polvo y humedad.

3.6.4 Dispositivos de protección

En el mercado existen diversas marcas que ofrecen dispositivos de protección, principalmente para corriente alterna. Sin embargo, en el caso de la corriente continua, estos equipos suelen ser fabricados únicamente por marcas especializadas. Al momento de adquirirlos, es fundamental considerar las certificaciones con las que cuentan, tales como CE, IEC y RoHS, que garantizan su calidad y cumplimiento de normas internacionales. Cabe resaltar que los proveedores de este tipo de dispositivos son limitados en la localidad, a continuación se detallan los más representativos.

Figura 27

Marcas de dispositivos de protección



Los dispositivos indispensables en cualquier instalación que consideraremos son:

- Termomagnético DC
- Fusibles en su respectivo portafusible
- Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS)

3.6.5 Elección de la estructura para los paneles fotovoltaicos

El soporte estructural seleccionada para los paneles fotovoltaicos está fabricada en aluminio, material resistente a la corrosión según lo indicado en la Norma Técnica Peruana NTP.EM (2009). Su ligereza facilita el transporte y la instalación en campo. El diseño permite el montaje de tres paneles y cuenta con una inclinación de 15°.

Figura 28

Estructura para tres paneles fotovoltaicos



Nota. Figura referencial de la estructura de aluminio que ofrece Autosolar.

3.6.6 Tubería

En cuanto al tipo de tubería a emplear en el sistema, se consideran dos alternativas que resultan ser las más adecuadas y comúnmente utilizadas en instalaciones hidráulicas, la tubería de PVC y la tubería HDPE o politubo.

Figura 29

Tubería PVC para agua de la marca Pavco



Nota. Tubería PVC Pavco disponible en Promart.

La tubería PVC es ampliamente valorada por su sencilla instalación, bajo precio y resistencia a corrosión, lo que la hace bueno para conducciones de agua en instalaciones a la intemperie. Por otro lado, la tubería HDPE resalta por su alta flexibilidad, capacidad para soportar presiones elevadas, impactos y a variaciones de temperatura, lo que la convierte en una opción mejorada para sistemas que requieren mayor durabilidad y confiabilidad de riego, especialmente en terrenos irregulares o instalaciones subterráneas.

Figura 30

Tubería HDPE



3.6.7 Sistema de control

Para el sistema de control existen diversas opciones que es posible integrar a la instalación, tales como un temporizador en corriente continua (DC) para programar los periodos de funcionamiento de la bomba, un sensor de nivel de agua (tipo flotador) que regula el llenado de tanques o cisternas, un relé de protección por falta de agua que evita el funcionamiento en seco y, en casos de pozos profundos, una sonda de nivel que permite un control más preciso y seguro pero no tan confiable del recurso hídrico.

El sensor de nivel de agua presenta ventajas notables frente a otros tipos de control. Destaca por su confiabilidad, al tratarse de un dispositivo de funcionamiento mecánico simple y probado, además de ser fácil de encontrar en el mercado nacional y local. Su instalación es sencilla, su costo es relativamente bajo y ofrece una protección efectiva para la electrobomba, evitando el riesgo de funcionamiento en seco y prolongando su vida útil.

a. Materiales complementarios

- Tablero
- Conectores tipo MC4
- Cable 4 mm^2 o 10 AWG
- Conectores
- Cintillos
- Cinta aislante
- Cinta vulcanizante
- Tubo corrugado
- Tarugos
- Tornillos

b. Herramientas para la instalación

- Pinza amperimétrica
- Destornilladores
- Alicates multiuso
- Alicates de corte
- Alicates universales
- Taladro
- Brocas de cemento
- Nivel de mano
- Cinta métrica
- Inclinómetro
- Llave hexagonal

c. Equipos de Protección Personal (EPP)

- Casco de seguridad
- Guantes de seguridad
- Chaleco con cinta reflejante
- Zapato de seguridad y dieléctrico (para instalaciones eléctricas específicas).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico

4.1.1 Determinación de horas sol pico (HSP)

La base de datos utilizada para determinar las Horas Sol Pico promedio de cada mes, es adquirida de la plataforma NASA POWER (2020 – 2022), teniendo en cuenta el lugar de instalación Comunidad Campesina de Tacamani.

Tabla 6

Horas Sol Pico mensual de Comunidad Campesina de Tacamani.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2020	5.91	4.96	5.56	5.93	5.72	5.55	5.94	6.49	6.3	6.62	8.1	6
2021	5.98	6.12	5.38	5.87	5.51	5.52	5.79	6.42	6.59	7.46	6.63	5.71
2022	5.79	5.71	5.89	6.21	6.09	5.62	5.82	6.29	7.33	8.04	8.12	6.4

Nota: Datos obtenidos de la plataforma Nasa power (power.larc.nasa.gov/).

Para los cálculos es necesario considerar el mes con menor Hora Sol Pico del historial, que en nuestro caso es del mes de febrero con 4.96 h.

4.1.2 Demanda de agua

Teniendo en cuenta a Vilca (2021), se considera una demanda hídrica de 95.12 mm/mes para el cultivo, en el mes de octubre (31 días), identificado como el mes más crítico del año en términos de disponibilidad de recursos hídricos. Esto equivale a una lámina de agua requerida de 3.06 mm/día. Dado que el área destinada al riego en nuestro proyecto es de 5000 m² Tabla 3, la demanda diaria del cultivo asciende a 15.34 m³ de agua.

$$Demanda\ de\ agua = \frac{3.06\ \frac{mm}{día}}{1000} \times 5000\ m^2$$

$$Demanda\ de\ agua = 15.34\ m^3/día$$

4.1.3 Cálculo de caudal

Para determinar el caudal es necesario la demanda hídrica y las Horas Sol Pico de la Tabla 6.

- Demanda de agua :15.34 m³
- HSP :4.96 h

Se calcula el caudal con la Ecuación (2):

$$Q = \frac{15.34 \text{ m}^3}{4.96 \text{ hr} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}}}$$

$$Q = 0.000859 \text{ m}^3/\text{s} , 51.55 \text{ l}/\text{min}$$

4.1.4 Cálculo de la altura dinámica de los aspersores

Para el dimensionamiento adecuado de la electrobomba es fundamental considerar la altura equivalente que demandan los aspersores, dado que estos actúan como una carga hidráulica dentro del sistema. Dicha altura se determinó a partir de los siguientes parámetros, teniendo en cuenta que cada aspersor requiere una presión de operación de 1 bar:

- P : 1 bar
- ρ : 998 kg/m³
- g : 9.81 m/s²

Con la Ecuación (4), se despeja la altura que representa un aspersor.

$$H_A = \frac{1 \text{ bar} * \frac{100000 \text{ kg}/\text{m} * \text{s}^2}{1 \text{ bar}}}{998 \text{ kg}/\text{m}^2 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2}$$

$$H_A = 10.21 \text{ m}$$

Se utiliza 4 aspersores, por lo tanto, la altura que representa para la bomba es:

$$H_A = 40.86 \text{ m}$$

4.1.5 Cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería

Para determinar las pérdidas que existe en la tubería es importante calcular la velocidad con la que el agua circulará por el politubo, este valor se obtiene con:

- Q : 0.000859 m³/s
- D : 0.03175 m

La velocidad es determinada con la Ecuación (7):

$$v = \frac{4 * (0.000859 \text{ m}^3/\text{s})}{3.1416 * (0.03175 \text{ m})^2}$$

$$v = 1.09 \text{ m}/\text{s}$$

Se determina el número de Reynolds, con la Ecuación (5) para lo cual es necesario la viscosidad dinámica del Anexo 1:

- v : 1.09 m/s
- D : 0.03175 m
- ρ : 998 kg/m³
- μ : 0.001307 kg/m*s

El número de Reynolds es:

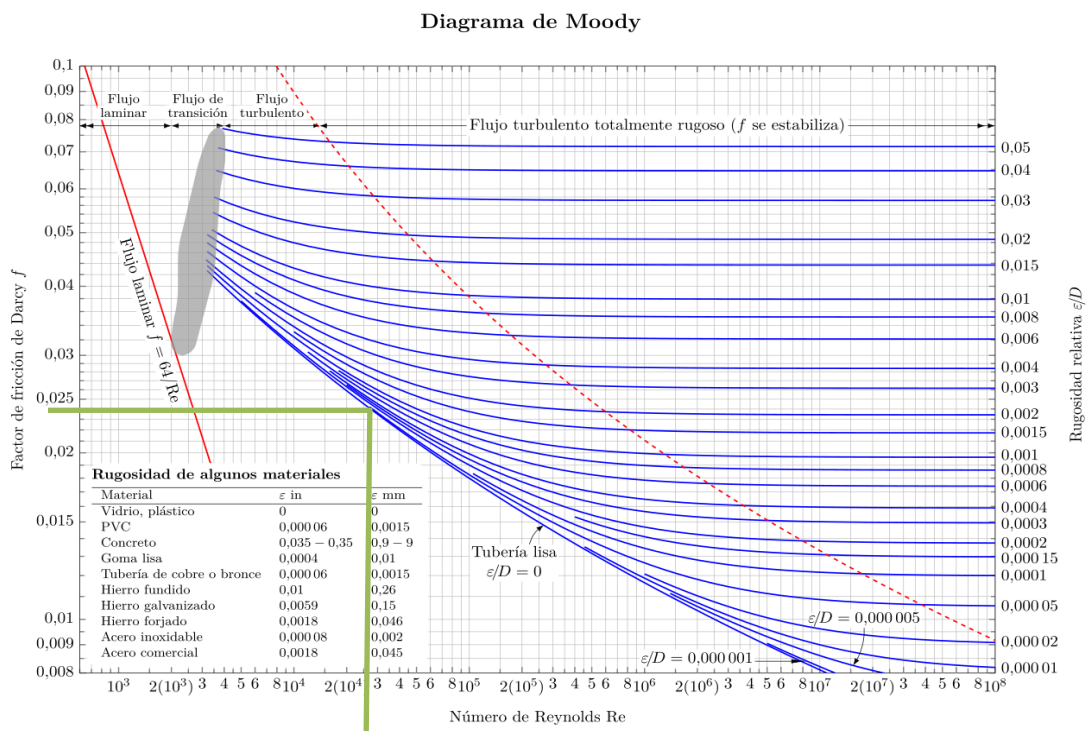
$$Re = \frac{1.09 \text{ m/s} \times 0.03175 \text{ m} \times 998 \text{ kg/m}^3}{0.001307 \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$Re = 26303$$

Se pretende instalar una tubería tipo politubo, la cual se clasifica como tubo liso. Esto permite que el factor de fricción se determine directamente utilizando el diagrama de Moody.

Figura 31

Selección de factor de fricción



Las pérdidas de energía por resistencia al movimiento en la tubería son calculadas por la Ecuación (6), que no brinda Darcy – Weisbach, donde se requiere los siguientes datos.

- f : 0.024
- L : 300 m
- v : 1.09 m/s
- D : 0.03175 m
- g : 9.81 m/s²

La pérdida por fricción en la tubería es determinada por la Ecuación (6):

$$P_t = \frac{0.024 * 300 \text{ m} \times (1.09 \text{ m/s})^2}{0.03175 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$P_t = 13.73 \text{ m}$$

4.1.6 Cálculo de pérdidas en los accesorios

Los Codos y las Tees generan pérdidas que son importante de considerar, para este cálculo es necesario el coeficiente de resistencia de cada accesorio y el factor de fricción del Anexo 1 con la Ecuación (9). También es necesario los siguientes datos para determinar las pérdidas por accesorio.

- D : 0.03175 m
- F_t : 0.022

El coeficiente de resistencia y la pérdida en un solo Codo es:

$$K = 30 \times 0.022$$

$$K = 0.66$$

Remplazando en la Ecuación (8) para obtener la pérdida en el Codo.

$$P_a = \frac{0.66 \times 0.03175 \text{ m}}{0.022}$$

$$P_a = 0.9525 \text{ m}$$

Se agregan a la instalación 5 Codos por lo cual el valor de la pérdida es:

$$P_a = 0.9525 \text{ m} \times 5$$

$$P_a = 4.76 \text{ m}$$

El coeficiente de resistencia y la pérdida en un solo Tee es:

$$K = 20 \times 0.022$$

$$K = 0.44$$

Remplazando en la Ecuación (8) para obtener la pérdida en la Tee.

$$P_a = \frac{0.44 \times 0.03175 \text{ m}}{0.022}$$

$$P_a = 0.635 \text{ m}$$

Se agrega a la instalación 3 Tees, donde el valor de la pérdida en este accesorio será:

$$P_a = 0.635 \text{ m} \times 3$$

$$P_a = 1.91 \text{ m}$$

4.1.7 Cálculo de altura hidráulica total

Con la sumatoria de la altura de bombeo, las pérdidas debido a la fricción en la tubería y las pérdidas en los accesorios Ecuación (3), se requiere los siguientes datos.

- H_p : 7 m
- H_A : 40.86 m
- P_t : 13.73 m
- P_a : 6.67 m

La altura hidráulica total es el siguiente:

$$H_T = 7 \text{ m} + 40.86 \text{ m} + 13.73 \text{ m} + 6.67 \text{ m}$$

$$H_T = 68.26 \text{ m}$$

4.1.8 Cálculo de la energía hidráulica

A partir de la Ecuación (10), se determina la energía hidráulica generada al elevar el agua a una altura específica y con un caudal definido durante el día.

- H_T : 68.26 m
- Q : 15.34 $\text{m}^3/\text{día}$

$$E_H = 2.725 \times 68.26 \text{ m} \times 15.34 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$E_H = 2853 \text{ Wh/día}$$

4.1.9 Cálculo de potencia hidráulica de la electrobomba

Es calculada con la Ecuación (11), también es necesario los siguientes datos.

- Q : 0.000859 m^3/s
- H_T : 68.26 m
- γ : 9.81 kN/m^3

$$P_{HB} = 68.26 \text{ m} \times 9.81 \text{ kN}/\text{m}^3 \times 0.000859 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{HB} = 0.575 \text{ kW} ; 575 \text{ W}$$

La electrobomba debe tener una potencia superior a la calculada para garantizar un funcionamiento eficiente, evitar sobrecargas y adaptarse a variación en las condiciones de trabajo. Para ello, se recomienda elegir 750W (1HP).

$$P_{HB} = 750 W$$

4.1.10 Cálculo de potencia eléctrica de la electrobomba

Utilizando la Ecuación (12), se estima la potencia eléctrica que el inversor variador suministra a la electrobomba.

- P_{HB} : 750 W
- η_B : 58% (Placa de la electrobomba)

$$P_E = \frac{750 W}{0.58}$$

$$P_E = 1293.10 W$$

Este valor representa únicamente la potencia que demanda la electrobomba para su funcionamiento. Es decir, indica cuanta energía eléctrica se requiere en el equipo para que opere de manera adecuada.

4.1.11 Cálculo de la energía necesaria para el dimensionamiento del generador fotovoltaico.

Calculada con la Ecuación (13), con la energía hidráulica ya calculado y la eficiencia que la electrobomba nos brinda en su placa.

- E_H : 2853 Wh/día
- η_B : 58 %

$$E_{Pd} = \frac{2853 Wh/día}{0.58}$$

$$E_{Pd} = 4918.97 Wh/día$$

4.1.12 Cálculo de potencia del generador

Con la Ecuación (14), con los datos requeridos de:

- f.s : 1.2
- KT : 0.7
- HSP : 4.96 h

$$P_G = 1.2 \times \frac{4918.97 Wh/día}{0.9 \times 4.96 h \times 0.7}$$

$$P_G = 1889.00 Wp$$

4.1.13 Cálculo número de paneles fotovoltaicos

Para estimar la cantidad y configuración del arreglo fotovoltaico, es necesario contar con la ficha técnica Anexo 2 del panel, para esto se emplea el panel Trina solar Bifacial de 610W, teniendo las siguientes especificaciones.

Tabla 7

Especificaciones técnicas del panel.

Trina solar Bifacial TSM-NEG19RC.20 610 Wp	
Potencia máxima Pmax	610 Wp
Voltaje de máxima potencia Vmpp	40.8 V
Corriente de máxima potencia Imp	14.96 A
Voltaje circuito abierto Voc	49 V
Corriente de cortocircuito Isc	15.86 A
Coefficientes de temperatura	
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.30 %/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.24 %/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	0.04 %/°C

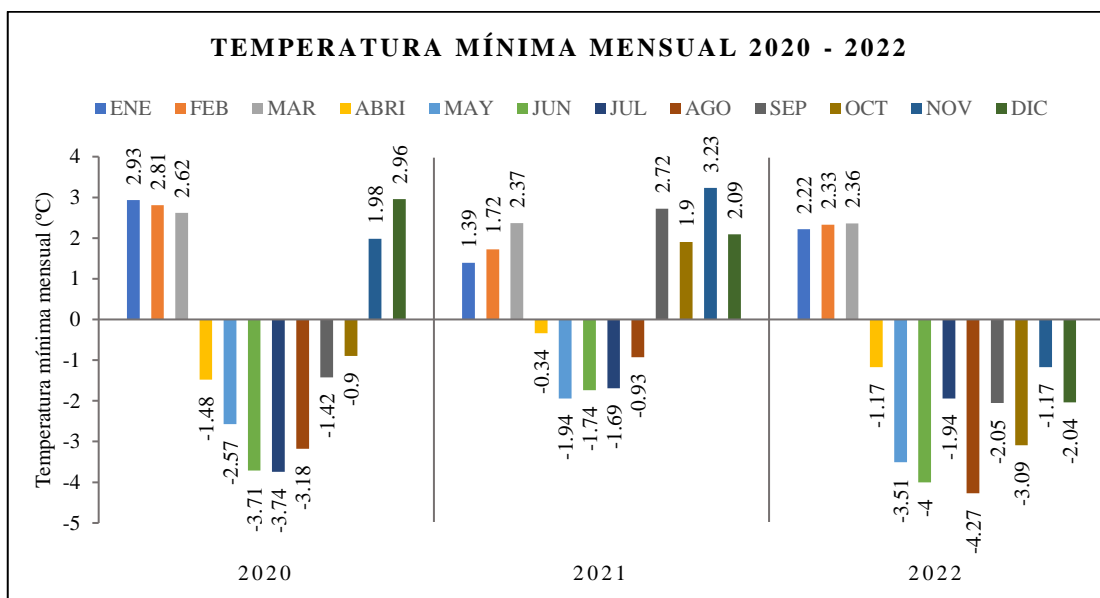
Nota. Parámetros de la ficha técnica del panel solar.

4.1.14 Corrección de parámetros del panel por temperatura

La temperatura mínima y máxima durante el funcionamiento son factores cruciales que se debe tener en cuenta para el correcto cálculo de cantidad de paneles, ya que la temperatura interviene en los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico.

Figura 32

Temperatura mínima de cada mes durante tres años

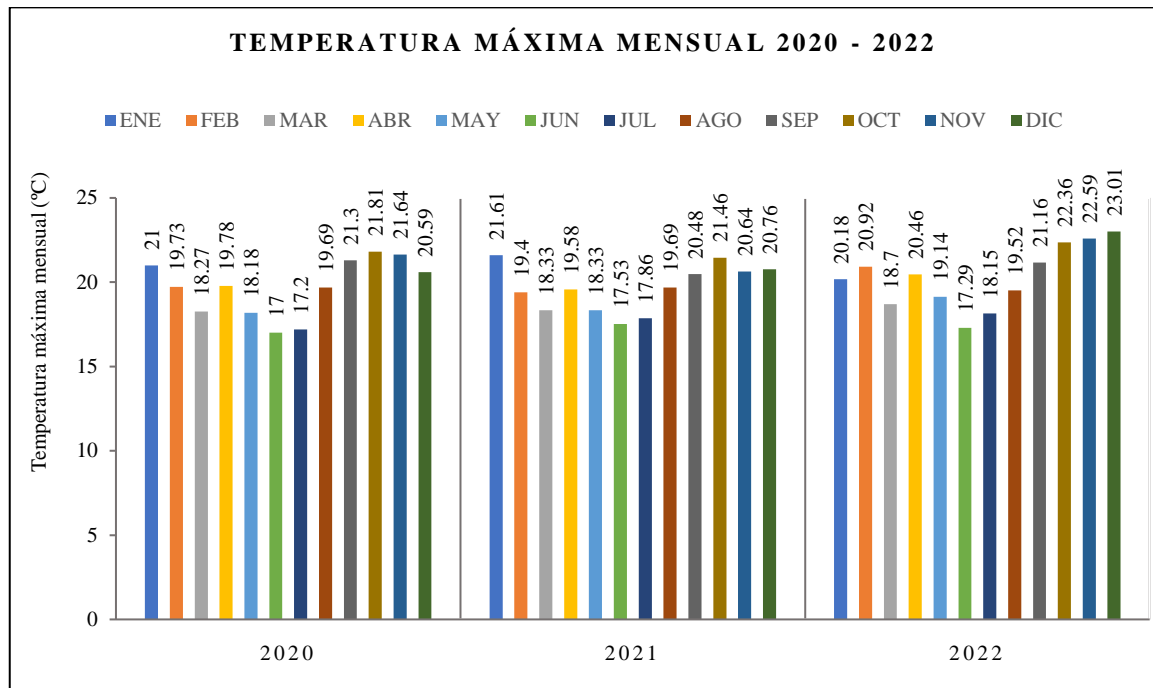


Nota. Temperaturas obtenidas de la plataforma NASA POWER.

En la Figura 32 muestra que específicamente en el mes de agosto 2022 se tiene una temperatura mínima de $-4.27\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo cual existe una probabilidad de que pueda alcanzar $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, dato que será tomado para el cálculo del voltaje de circuito abierto de la cadena (string).

Figura 33

Temperatura máxima de cada mes durante tres años



Nota. Temperaturas obtenidas de la plataforma NASA POWER.

En diciembre se tiene una temperatura máxima de $23.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ Figura 33, por lo cual hay una probabilidad de que pueda alcanzar $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, dato que será tomado para el cálculo de la corriente de cortocircuito corregida y potencia máxima corregida del arreglo fotovoltaico.

a. Cálculo de Voc a la temperatura crítica

Para obtener el voltaje de circuito abierto corregida se requiere determinar el coeficiente de corrección a la temperatura mínima de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ según la data de la NASA POWER mostrada en la Figura 32.

El coeficiente de corrección por temperatura es determinado por la Ecuación (16) y los datos que nos indica en la Tabla 7:

$$K_U = 1 + ((-0.24/100)(-5 - 25))$$

$$K_U = 1.072$$

El valor del voltaje de circuito abierto corregido a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ es calculada con la Ecuación (15):

$$V_{OC_corr} = 1.072 * 49\text{ V}$$

$$V_{OC_corr} = \mathbf{52.53\text{ V}}$$

b. Cálculo de Isc a la temperatura crítica

Para la obtención corriente de cortocircuito corregida se tuvo en cuenta la temperatura máxima de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ según el historial de la plataforma NASA POWER mostrada en la Figura 33.

El coeficiente de corrección es la unidad porque la temperatura es igual a la temperatura STC, esto se demuestra con la Ecuación (18) y el coeficiente de temperatura para la corriente de la Tabla 7.

$$K_I = 1 + ((0.04/100)(25 - 25))$$

$$K_I = \mathbf{1}$$

La corriente de cortocircuito corregido a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, calculada con la Ecuación (17) es:

$$I_{SC_corr} = 1 * 15.86\text{ A}$$

$$I_{SC_corr} = \mathbf{15.86\text{ A}}$$

Donde corroboramos que la temperatura máxima ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) del historial Figura 33 en la zona, para la instalación no tiene efecto de pérdida, ya que dicha temperatura es igual que la temperatura en condiciones estándar de medida del panel solar (STC).

c. Cálculo de Pmax a la temperatura crítica

Para la obtención de la potencia máxima corregida se tiene en cuenta la temperatura máxima de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ según la data de la NASA POWER mostrada en la Figura 33.

El coeficiente de corrección para la potencia es determinado por la Ecuación (20) y con datos de la Tabla 7.

$$K_P = 1 + (-0.30/100)(25 - 25)$$

$$K_P = \mathbf{1}$$

La potencia máxima corregido a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ es calculada con la Ecuación (19):

$$P_{PMP_corr} = 1 * 610\text{ Wp}$$

$$P_{PMP_corr} = \mathbf{610\text{ Wp}}$$

Al igual que ocurre con la corrección por temperatura del amperaje de cortocircuito I_{sc} , la potencia del panel solar no experimenta pérdidas debido al aumento de temperatura (25 °C) de la zona donde se pretende instalar el sistema de bombeo solar.

4.1.15 Número de paneles solares

Utilizando la Ecuación (21) la potencia del generador fotovoltaico y la potencia corregida por temperatura del panel fotovoltaico.

- P_G : 1889 W
- $P_{PMP\ MAX}$: 610 Wp

$$N_M = \frac{1889\ W}{610\ Wp}$$

$$N_M = 3.09$$

$$N_M = 3\ \text{módulos}$$

El resultado se aproxima al entero inferior, ya que al estimar la potencia del generador se incluyeron las distintas pérdidas que afectan el rendimiento del sistema.

4.1.16 Cálculo de paneles en serie

Los paneles en serie son determinados con la Ecuación (22), con voltaje de máxima potencia del panel en condiciones STC dada en la Tabla 7 y el rango de voltaje recomendado por el fabricante del inversor variador, en el Anexo 6.

- V_{mp_v} recomendado : $100\ V_{mp_v} < DC\ Input < 430\ Voc$
- V_{MP} : 40.8 V

$$N_{serie} = \frac{100\ V}{40.8\ V}$$

$$N_{serie} = 2.45$$

$$N_{serie} = 3\ \text{módulos en serie}$$

El valor debe redondearse al entero superior, ya que el variador (inversor) recomienda que la tensión de entrada sea superior a $100\ V_{mp_v}$ para garantizar un funcionamiento continuo y estable del sistema.

4.1.17 Cálculo de paneles en paralelo

La cantidad de paneles conectados en paralelo son obtenidos de la Ecuación (23).

Los datos requeridos para este cálculo:

- P_G : 1889 W
- P_{PMP_corr} : 610 Wp
- N_{serie} : 2.45 paneles

$$N_{paralelo} = \frac{1889 W}{610 Wp \times 2.45}$$

$$N_{paralelo} = 1.26$$

$$N_{paralelo} = \mathbf{1 \textit{ string en paralelo}}$$

El valor adecuado a considerar debe ser entero inferior, ya que el inversor variador soporta una corriente de 18 A en nuestro caso al usar un panel con una corriente de 15.86 A y en un supuesto si consideramos 2 string en paralelo, se supera la corriente recomendada para el inversor variador Anexo 6, generamos un fallo en el funcionamiento del sistema.

Por lo cual la cantidad de string en paralelo es 1.

Finalmente, ahora el

total de paneles fotovoltaicos con la Ecuación (24):

$$N_{total.m} = 3 \textit{ módulos en serie} * 1 \textit{ string en paralelo}$$

$$N_{total.m} = \mathbf{3 \textit{ módulos}}$$

4.1.18 Cálculo de la inclinación del panel fotovoltaico

Con la Ecuación (25), valor absoluto de la latitud del lugar Tabla 1:

$$|\phi| : 15.46$$

El ángulo óptimo para la instalación de los paneles.

$$\beta_{opt} = 3.6 + 0.69 \times 15.46$$

$$\beta_{opt} = 14.28^\circ$$

Por lo cual, la estructura debe admitir este ángulo o un aproximado, dependiendo de la disponibilidad de estructuras en el mercado local o nacional.

De elaboró la Tabla 8, con la finalidad de hacer una comparativa de distintas configuraciones, tomando como base la potencia de generación o generador que da como referencia a la potencia que debemos cubrir con el arreglo fotovoltaico, la potencia de dicho arreglo debe asemejarse para no ser considerado deficiente ni sobredimensionado.

Tabla 8

Evaluación de configuraciones con la potencia de generación.

Número de paneles	Potencia del panel (Wp)	Tensión máxima en STC (V)	Potencia del arreglo (Wp) frente a la Potencia de generación 1889Wp	Tensión admitida por el inversor variador (100Vdc<DC input<430Voc)	Corriente admitida por el inversor variador 18 A
2	610	40.8	1220 < P_G (Deficiente)	81.6 V No se adecua	15 A< Cumple
3	610	40.8	1830 $\approx P_G$ (Adecuado)	122.4 V Se adecua	15 A< Cumple
4	610	40.8	2440 > P_G (Sobredimensionado)	163.2 V Se adecua	15 A< Cumple

Nota. Comparativa de 3 distintas configuraciones de paneles conectados en serie frente a la potencia de generador calculado y los parámetros del inversor variador, esta tabla es de elaboración propia.

Por lo tanto la configuración de 3 paneles en serie con una potencia del arreglo fotovoltaico de 1830 Wp es adecuado para el desempeño del sistema de bombeo solar ya que en el cálculo de la potencia de generación se considera un factor de seguridad (fs), pérdidas (0.9) y un coeficiente de pérdida al usar un inversor variador (0.7) con la Ecuación (14), el resultado obtenido permite validar la hipótesis formulada.

4.1.19 Prueba de funcionamiento

Como parte de los resultados, se llevó a cabo una recopilación de datos con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del sistema. Para ello, se realizaron mediciones directas utilizando un multímetro con capacidad para medir parámetros eléctricos como tensión y corriente. La potencia se determinó mediante el producto de estos dos valores, lo que nos brinda los paneles solares (corriente continua), como en la salida del inversor variador hacia la electrobomba (corriente alterna).

a. Parámetros eléctricos

La prueba se realizó el 26 de mayo del 2025, iniciando a las 9:00 de la mañana y concluyendo a las 16:30 de la tarde cuando el sistema deja de funcionar. Durante este periodo se tomaron mediciones continuas de los parámetros eléctricos del sistema de bombeo solar, como voltaje, corriente. Los valores obtenidos permiten analizar el comportamiento de la instalación a lo largo del día, especialmente en relación con la variación de la radiación solar.

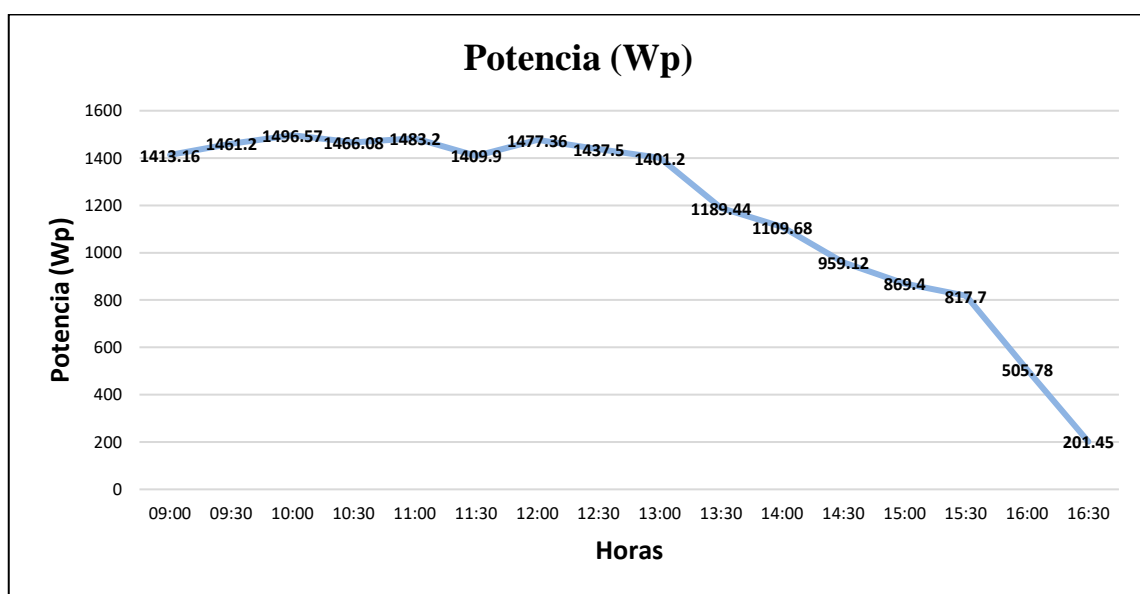
Los resultados de estos parámetros se presentan en la Tabla 9, que muestra de manera ordenada los datos registrados.

Tabla 9*Datos medidos en pleno funcionamiento.*

Hora	CORRIENTE CONTINUA			CORRIENTE ALTERNA			
	Potencia (Wp)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (Wac)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
9:00	1413.16	144.20	9.80	816.96	170.20	4.80	41.30
9:30	1461.20	140.50	10.40	979.97	184.90	5.30	49.20
10:00	1496.57	137.30	10.90	1366.95	210.30	6.50	52.10
10:30	1466.08	130.90	11.20	1539.99	216.90	7.10	59.80
11:00	1483.20	123.60	12.00	1681.30	195.50	8.60	59.00
11:30	1409.90	122.60	11.50	1888.56	219.60	8.60	58.60
12:00	1477.36	125.20	11.80	1810.23	218.10	8.30	59.40
12:30	1437.50	125.00	11.50	1835.40	218.50	8.40	59.40
13:00	1401.20	124.00	11.30	1802.36	219.80	8.20	60.00
13:30	1189.44	123.90	9.60	1226.10	201.00	6.10	55.00
14:00	1109.68	126.10	8.80	1133.32	195.40	5.80	53.20
14:30	959.12	126.20	7.60	963.90	189.00	5.10	50.10
15:00	869.40	126.00	6.90	846.00	180.00	4.70	48.00
15:30	817.70	125.80	6.50	805.92	175.20	4.60	47.70
16:00	505.78	133.10	3.80	521.28	144.80	3.60	39.50
16:30	201.45	134.30	1.50	290.87	100.30	2.90	24.70

Nota. Elaboración propia.

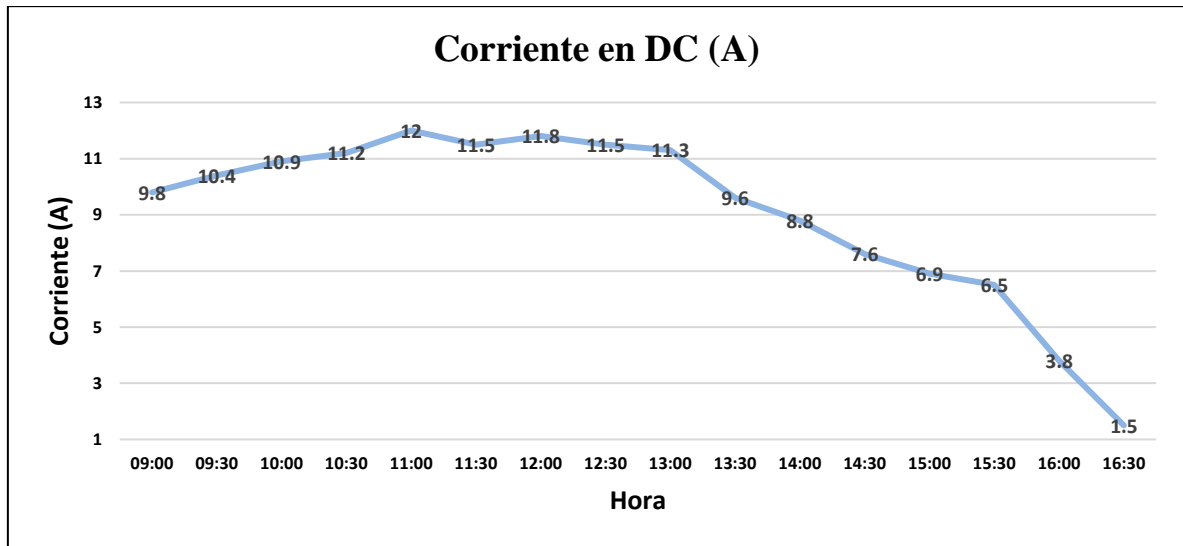
En la Figura 34, se aprecia la potencia suministrada por el arreglo fotovoltaico al inversor variador. Se observa que esta potencia incrementa a medida que también aumenta la radiación solar, alcanzando un valor máximo de 1496,57 Wp. Asimismo, cuando la potencia desciende a niveles muy bajos, el inversor variador interrumpe automáticamente el suministro de energía hacia la electrobomba.

Figura 34*Comportamiento de la potencia que suministra los paneles solares**Nota.* Elaboración propia.

La Figura 35 evidencia que el comportamiento de la corriente tiene una relación directa con la potencia aprovechada por los paneles fotovoltaicos, siendo proporcional a la irradiancia solar.

Figura 35

Comportamiento de la corriente que suministra los paneles solares

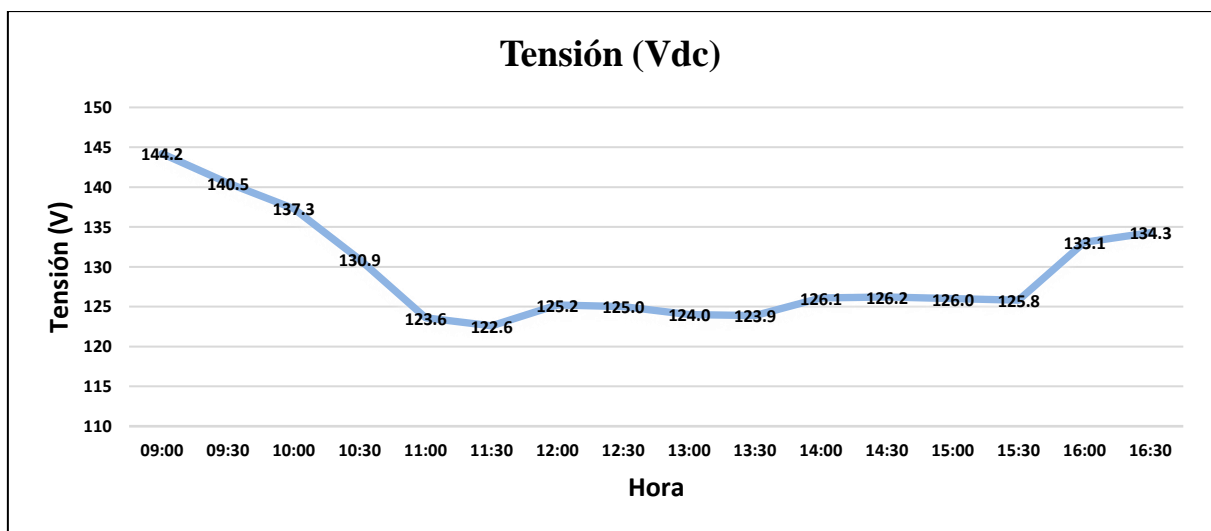


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 36, muestra que el comportamiento de la tensión dc es inversamente proporcional a la temperatura, ya que en la mañana y en la tarde los paneles solares tienden a estar fríos.

Figura 36

Comportamiento de la corriente que suministra los paneles solares

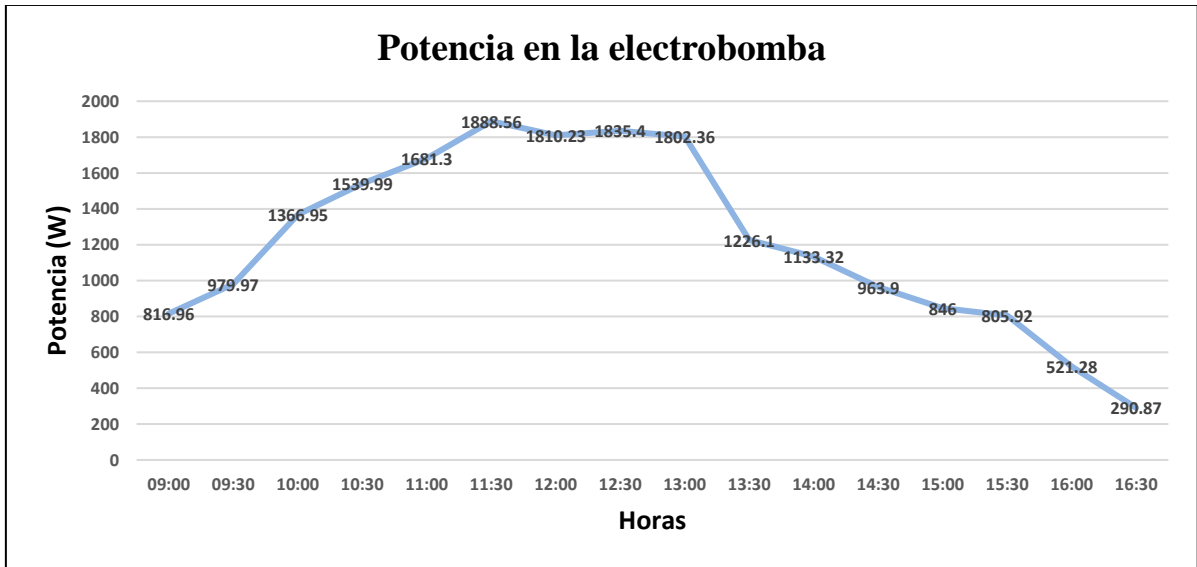


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 37, señala la potencia con la que trabaja la electrobomba donde es proporcional a la radiación que aprovecha el sistema fotovoltaico.

Figura 37

Potencia que suministra el inversor variador a la electrobomba

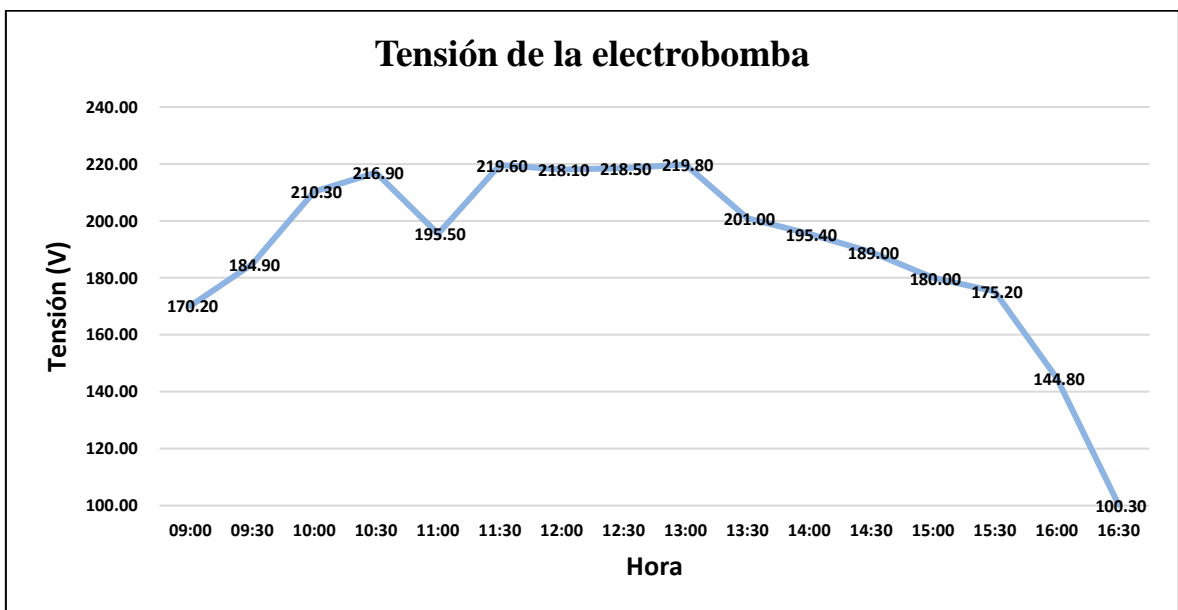


Nota. Elaboración propia.

El Figura 38, muestra la tensión de trabajo de electrobomba que tiende a llegar al voltaje nominal de 220 V, este parámetro del motor nos lo brinda el inversor variador.

Figura 38

Tensión que suministra el inversor variador a la electrobomba

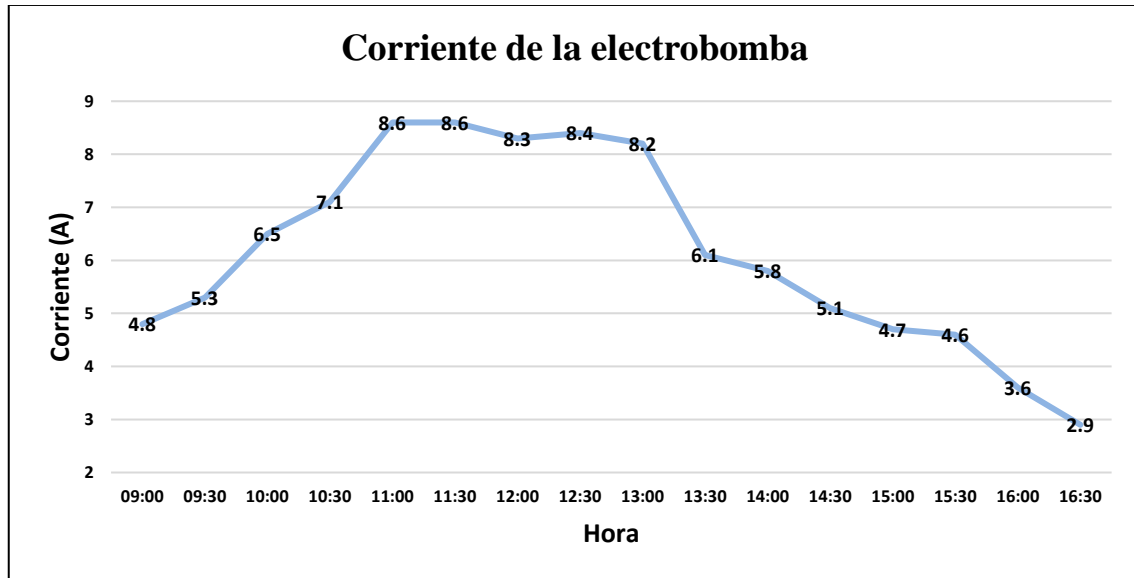


Nota. Elaboración propia.

La corriente con la que trabaja la electrobomba es mostrada en la Figura 39, donde se visualiza que también es proporcional al recurso solar que se dispone.

Figura 39

Corriente que suministra el inversor variador a la electrobomba



Nota. Elaboración propia.

b. Medición de caudal

A fin de corroborar el dimensionamiento se incluye la medición del flujo de agua que se efectuó mediante el método volumétrico, empleando como recipiente un bebedero para ganado con forma de prisma rectangular. Dicho recipiente presenta dimensiones de 0.49 m×1.34 m×0.39 m, lo que equivale a un volumen de $0.256m^3$. En la Figura 40 se presenta el procedimiento de medición del volumen del recipiente, mientras que en la Figura 41 se muestra el registro del tiempo de llenado. el resultado obtenido se muestra a continuación.

Figura 40

Medición de los parámetros del bebedero



- Volumen : 0.256 m^3
- Tiempo : 3.10 minutos

Por lo que el caudal que suministra la electrobomba es:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \quad (33)$$

Por lo tanto el caudal medido es:

$$Q = \frac{0.256 \text{ m}^3}{3.10 \text{ min}}$$

$$Q = 0.0825 \text{ m}^3/\text{min} = 82.58 \text{ l/min}$$

El resultado de la medición nos muestra que el caudal medido en campo es mayor al caudal que se calculó previamente en el dimensionamiento del sistema de bombeo solar, lo que indica que si satisface la demanda de agua de 15.34 m^3 .

Figura 41

Llenado del bebedero para medir el caudal



4.2 Resultados del diseño e implementación del sistema de control y protección

De acuerdo con el diseño previo, se incorporó un sensor de nivel de agua como parte del sistema de control, con el objetivo de asegurar que la electrobomba opere únicamente cuando exista suficiente cantidad de agua. La instalación de este componente se llevó a cabo siguiendo el diagrama de conexionado presentado en el Anexo 10.

Como parte del sistema de protección, se diseñaron e instalaron los dispositivos de protección previamente seleccionados, de acuerdo a la Normativa Europea IEC 62548

(2017). La instalación de estos componentes se realizó siguiendo el plano del tablero eléctrico, el cual se presenta en el Anexo 10.

Dispositivos de protección

Teniendo en cuenta el manual que nos brinda el fabricante del inversor variador de la marca Hober, se recomienda instalar únicamente dispositivos de protección en la entrada (dc) del inversor variador, puesto que dicho componente tiene incorporados internamente dispositivos de protección Anexo 6.

Termomagnético DC

Para determinar el valor de la tensión de accionamiento del termomagnético DC se requiere calcular la tensión de todo el arreglo fotovoltaico corregido con la temperatura Ecuación (27).

$$V_{max_string_corr} = 3 \times 52.53 V$$

$$V_{max_string_corr} = 157.59 V$$

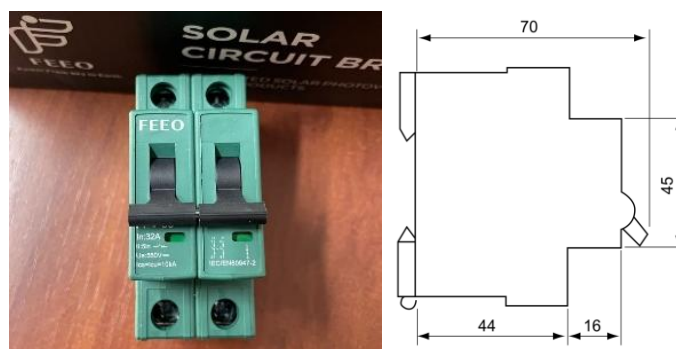
Donde la tensión del termomagnético es Ecuación (29):

$$V_t \geq 157.59 V$$

Para esta aplicación específica, se seleccionó un termomagnético en corriente continua (DC) de la marca FEEO por estar presente en los proveedores locales de la ciudad de Juliaca, reconocido por su fiabilidad y eficiencia en sistemas de protección eléctrica. Este dispositivo cuenta con una capacidad de operación de hasta 550 V que es mayor al voltaje del string corregido con la temperatura y esto indica que la tensión que maneja el dispositivo es adecuado para la instalación.

Figura 42

Termomagnético DC y sus dimensiones (mm).



Nota. Medidas del termomagnético dc del catálogo FEEO.

Portafusible y fusibles

La corriente que debe soportar el fusible está determinado por la Ecuación (26), la cantidad de string en paralelo, el amperaje de cortocircuito corregido con la temperatura y un factor de seguridad del 25%:

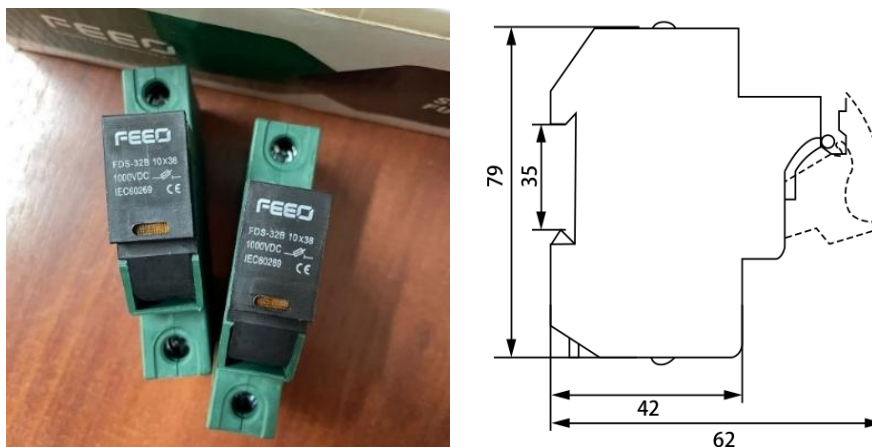
$$I_{nf} > 1.25 \times 1 \times 15.86 A$$

$$I_{nf} > 19.81 A$$

Los fusibles actúan como dispositivos de protección que se activan ante un exceso de corriente eléctrica, evitando daños en los cables y equipos eléctricos conectados. Cuando el fusible se funde debido a una sobrecorriente, debe ser reemplazado para restaurar la protección del circuito. Para este sistema, se seleccionaron portafusibles de la marca FEEO con una capacidad nominal de 20 A que es mayor a la corriente determinada por la Ecuación (26) de la Normativa Europea IEC 62548 (2017).

Figura 43

Portafusible y sus dimensiones (mm).



Nota. Medidas del portafusible del catálogo FEEO.

Dispositivo de protección contra sobretensión (DPS)

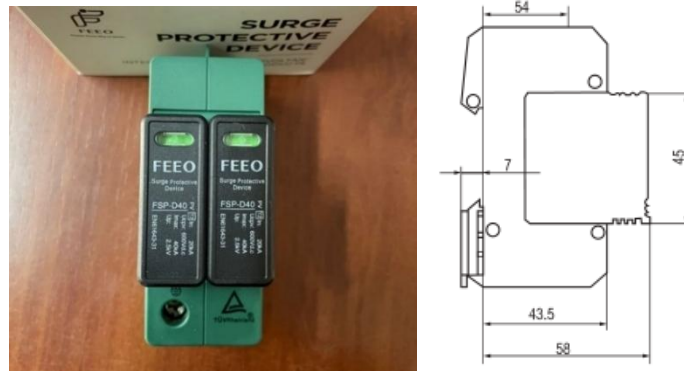
La tensión del DPS los determinamos con la Ecuación (28):

$$V_{DPS} \geq 157.59 V$$

El Dispositivo de Protección contra Sobretensión (DPS) se activa cuando se produce un aumento repentino de tensión, desviando el exceso de energía a tierra para prevenir de daños en los equipos conectados. El modelo utilizado es de la marca FEEO, con capacidad nominal de 600 V y potencia de 40 kVA.

Figura 44

Dispositivo de protección contra sobretensiones y sus dimensiones (mm).

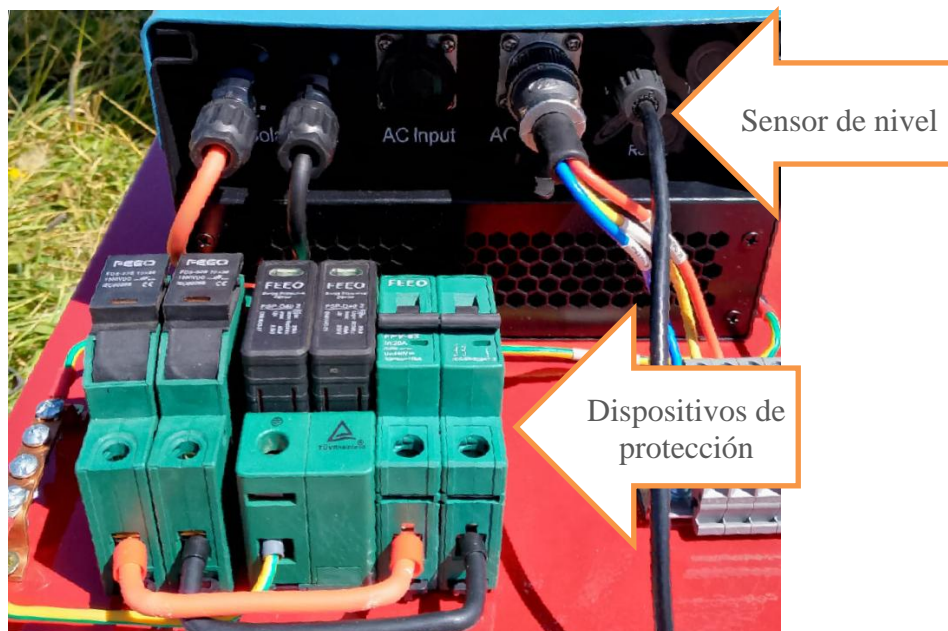


Nota. Medidas del DPS del catálogo FEEO.

En la Figura 45, se muestra el sistema de protección instalado en el tablero, junto con el inversor variador, de acuerdo con el diseño elaborado en AutoCAD Anexo 10, así como la conexión del sensor de nivel de agua tipo flotador.

Figura 45

Dispositivos de protección y sensor de nivel de agua.



Nota. Elaboración propia.

La Tabla 10, da a conocer que el sistema de control basado en un sensor de nivel de agua asegura que la bomba hidráulica opere únicamente cuando exista disponibilidad suficiente del recurso hídrico, evitando así daños por trabajo en seco. Asimismo, la incorporación de protecciones contra sobrecorriente, sobretensión y cortocircuito en el

sistema de protección resulta indispensable para este tipo de instalaciones, en concordancia con las recomendaciones de la normativa IEC 62548 (2017). Con ello, se confirma que la hipótesis planteada inicialmente es correcta.

Tabla 10

Resumen de los resultados del sistema de control y protección.

COMPONENTE	FUNCIÓN	ESPECIFICACIONES	UBICACIÓN DEL MONTAJE
Sensor de nivel agua	Evitar el funcionamiento en seco, accionamiento y detención según el nivel	Tipo flotador, con la configuración normalmente cerrado (N-C), señal compatible con el variador	Montado en la fuente de agua (pozo), junto con la bomba hidráulica.
Interruptor termomagnético DC	Protección contra sobrecorriente o cortocircuito	550V/32A (capacidad acorde a la configuración y con base a Normativa IEC 62548-2017)	En la entrada DC del inversor variador
Fusible y portafusible	Protección contra cortocircuito en cada polo del circuito	20A por polo (capacidad con base en la Normativa IEC 62548-2017)	En la entrada DC del inversor variador
Protección contra sobretensiones (DPS)	Protege al equipo inversor variador contra sobretensiones	600V tensión de accionamiento (capacidad con base en la Normativa IEC 62548-2017)	En la entrada DC del inversor variador

Nota. Elaboración propia.

4.3 Resultados del análisis de viabilidad económica (VAN, TIR y PAYBACK)

4.3.1 Elaboración de flujo de caja del sistema fotovoltaico

El costo de los equipos y de la instalación han sido asumidos por los tesisistas. En la Tabla 11, se da a conocer el presupuesto que se tuvo, correspondiente a los materiales y equipos para la instalación del sistema:

Tabla 11

Presupuesto de ejecución del proyecto.

Presupuesto sistema de bombeo solar				
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO				
Paneles 610W	Unidad	3	700	2,100.00
Bomba sumergible 750W	Unidad	1	2,700.00	2,700.00
Inversor variador	Unidad	1	1,500.00	1,500.00
Cable vulcanizado 4×12 AWG	Metros	10	10.00	100.00
Cable solar 2×10 AWG	Metros	4	9.00	36.00
Estructura de aluminio	Unidad	1	550.00	550.00

Tabla 12 (Continuación)*Presupuesto de ejecución del proyecto.*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Unión universal HDPE 1-1/4 pul a 1 pul	Unidad	1	12.00	12.00
Termomagnético DC	Unidad	1	90.00	90.00
Protección contra sobretensión DPS	Unidad	1	100.00	100.00
Portafusible y fusible	Unidad	2	60.00	120.00
Tablero eléctrico	Unidad	1	160.00	160.00
Tubería HDPE 1in	Unidad	2	80.00	160.00
Codo HDPE 1in	Unidad	5	11.00	55.00
Conector Tees HDPE 1in	Unidad	3	15.00	45.00
Aspersores	Unidad	4	30.00	120.00
Cemento	Unidad	2	28.00	56.00
Accesorios otros	Unidad	1	100.00	100.00
TOTAL				7,584.00

Nota. Elaboración propia.**Ingreso por venta de alfalfa**

La frecuencia de corte de alfalfa asumida es de 6 veces al año con un costo de S/. 400 la venta de cada corte.

$$Ingreso_{alfalfa} = S/. 400 \times 6$$

$$Ingreso_{alfalfa} = S/. 2,400$$

Egreso por mantenimiento del sistema de bombeo solar

El egreso correspondiente al mantenimiento del sistema fotovoltaico, programado dos veces al año con un costo de S/. 150 por cada intervención, incluye la limpieza de los paneles fotovoltaicos, el mantenimiento de la electrobomba hidráulica y la verificación de los circuitos eléctricos.

$$Egreso_{mantenimiento_{año}} = 2 \times S/. 150$$

$$Egreso_{mantenimiento_{año}} = S/. 300$$

Egreso por pago del personal para corte y empacado

El gasto fijo para el corte y empaquetado de alfalfa es de S/. 50 por cada jornada de corte. Dado que se tiene previsto realizar el corte cada dos meses, el gasto anual asciende a S/. 300.

$$Egreso\ personal_{año} = 6 \times S/.50$$

$$Egreso\ personal_{año} = S/.300$$

Egreso por transporte para la venta de cultivo de forraje

El gasto de transporte en cada corte de es de S/. 20, que es el traslado del forraje hacia la ciudad de Juliaca.

$$Egreso\ transporte_{año} = 6 \times S/.20$$

$$Egreso\ transporte_{año} = S/.120$$

Cálculo de valor actual neto

Utilizando la Ecuación (30), se determinó el Valor Actual Neto (VAN) con una inversión inicial de S/. 7,584.00, según lo indicado en la Tabla 11. Para el cálculo, se empleó la diferencia entre ingresos y egresos como flujo de caja, aplicando una tasa de oportunidad del 12%, de acuerdo con lo señalado en la investigación de Quispe (2021).

Siendo el único ingreso la venta de forraje (S/.2,400) y como egreso total la sumatoria de los egresos tanto del mantenimiento del sistema, pago al personal de corte y empaçado, el costo del transporte para su comercialización dando un egreso total de S/.720.

- Ingreso total : **S/. 2,400**
- Egreso total : **S/. 720**

$$VAN = -7,584.00 + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^1} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^2} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^3} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^4}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^5} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^6} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^7} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^8}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^9} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{10}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{11}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{12}}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{13}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{14}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + 0.12)^{15}}$$

$$VAN = -7,584.00 + 1500.00 + 1339.29 + 1195.79 + 1067.67 + 953.28 + 851.14$$

$$+ 759.95 + 678.52 + 605.82 + 540.92 + 482.96 + 431.21 + 385.01$$

$$+ 343.76 + 306.93$$

$$VAN = S/. 3,858,25$$

En Valor Actual Neto a 15 años es positivo, lo que indica que la inversión es aceptable y por ende es rentable.

Cálculo de tasa interna de retorno

Con la Ecuación (31) calculamos la tasa interna de retorno:

$$0 = -7,584.00 + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^1} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^2} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^3} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^4}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^5} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^6} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^7} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^8}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^9} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{10}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{11}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{12}}$$

$$+ \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{13}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{14}} + \frac{2,400 - 720}{(1 + TIR)^{15}}$$

$$TIR = 0.21 = 21\%$$

Por lo tanto la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de oportunidad de 12%, lo que da a conocer que el proyecto es viable.

Cálculo de tiempo de recuperación (PAY-BACK)

Con la Ecuación (32) determinamos el tiempo de retorno considerando la Tabla 12:

$$PAY\ BACK = 6 + \frac{|-676.84|}{759.95}$$

$$PAY\ BACK = 6.89$$

El tiempo de retorno de la inversión inicial es de 6 años, 10 meses y 21 días.

4.3.2 Evaluación económica del sistema fotovoltaico

Se elaboró la Tabla 12, en la cual se presenta el flujo de caja del proyecto correspondiente a un periodo de 15 años de evaluación. En dicha Tabla se detallan el ingreso y egresos totales proyectados para cada año, así como el flujo neto de efectivo resultante y el beneficio neto generado en cada periodo. Esta información nos permite analizar de manera clara y ordenada el comportamiento financiero del proyecto, facilitando la evaluación de su

rentabilidad y viabilidad económica en un determinado lapso de tiempo.

Tabla 13

Flujo de caja y beneficio proyectado a 15 años del sistema de bombeo solar.

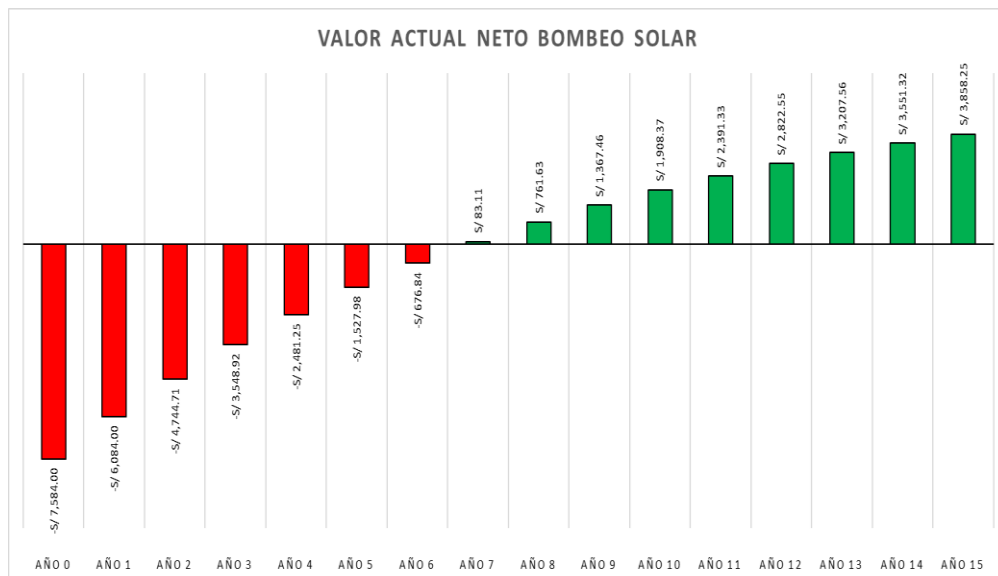
Año	EGRESOS		INGRESOS	Flujo neto de efectivo	Flujo actualizado al 12%	Beneficio neto
	Inversión Inicial	Egreso total	Ingreso total			
0	S/. 7,584.00					-S/.7,584.00
1		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 1,500.00	-S/.6,084.00
2		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 1,339.29	-S/.4,744.71
3		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 1,195.79	-S/.3,548.92
4		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 1,067.67	-S/.2,481.25
5		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 953.28	-S/.1,527.98
6		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 851.14	-S/.676.84
7		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 759.95	S/.83.11
8		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 678.52	S/.761.63
9		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 605.82	S/.1,367.46
10		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 540.92	S/.1,908.37
11		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 482.96	S/.2,391.33
12		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 431.21	S/.2,822.55
13		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 385.01	S/.3,207.56
14		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 343.76	S/.3,551.32
15		S/. 720	S/. 2,400	S/. 1,680	S/. 306.93	S/.3,858.25

Nota. Elaboración propia.

Con una evaluación a 15 años, los resultados presentados en la Figura 46 y en la Tabla 12 evidencian que el proyecto alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 3,858.25, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 21% y un periodo de recuperación de la inversión inicial de S/. 7,584.00 en 6 años y 10 meses.

Figura 46

Flujo de caja acumulado durante 15 años.



Nota. Elaboración propia.

Estos indicadores financieros confirman que el proyecto no solo es económicamente viable, sino que también ofrece una rentabilidad significativa en el horizonte de análisis, lo cual respalda la factibilidad de su implementación y su contribución a la sostenibilidad económica de la actividad productiva.

4.3.3 Elaboración de flujo de caja del sistema de bombeo con grupo electrógeno

Presupuesto del sistema de bombeo con grupo electrógeno

En la Tabla 13 se presenta el presupuesto estimado, elaborado a partir de cotizaciones realizadas en la ciudad de Juliaca e incluyendo los componentes ya adquiridos para la instalación del sistema de bombeo solar, como la bomba hidráulica y los elementos adicionales importantes para el sistema de riego.

Tabla 14

Presupuesto estimado de un proyecto de bombeo con G.E.

Presupuesto sistema de bombeo con grupo electrógeno				
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
SISTEMA DE BOMBEO CON G.E.				
Grupo electrógeno	Unidad	1	1,100	1,100
Bomba sumergible 750W	Unidad	1	2,700	2,700
Cable vulcanizado 4×12 AWG	Metros	10	10	100
Unión universal HDPE 1-1/4 pul a 1 pul	Unidad	1	12	12
Tubería HDPE 1in	Unidad	2	80	160
Codo HDPE 1in	Unidad	4	10	40
Conector Tees HDPE 1in	Unidad	3	20	60
Aspersores	Unidad	4	30	120
Accesorios otros	Unidad	1	100	100
TOTAL				4,392.00

Nota. Presupuesto al utilizar un grupo electrógeno, dicha tabla es de elaboración propia.

Ingreso por venta de forraje

Al igual que el sistema fotovoltaico el único ingreso se da por la venta de forraje de alfalfa con un valor de **S/. 2,400** anual.

Egreso por mantenimiento del grupo electrógeno

Según Vilches (2024), el equipo de bombeo debe recibir mantenimiento cuatro veces al año (trimestralmente), ya que, al ser un equipo mecánico con partes móviles, requiere

revisiones trimestrales para asegurar su correcto funcionamiento.

$$Egreso\ mantenimiento_{año} = 4 \times S/. 200$$

$$**Egreso\ mantenimiento_{año} = S/. 800**$$

Egreso por pago del personal para corte y empacado

El egreso por pago del personal encargado del corte y empacado está presente en cada jornada de cosecha de alfalfa. Este gasto se estima en **S/ 300** anual.

Egreso por combustible (gasolina)

El precio referencial del combustible se estableció a partir de consultas realizadas en varias estaciones de servicio (grifos) de la ciudad de Juliaca, obteniéndose un valor promedio de S/ 15 por galón. Para determinar el consumo, se tomó como referencia la ficha técnica de un grupo electrógeno de la marca Honda Anexo 5, convertido en galones, así como el tiempo de funcionamiento anual, determinado en función de 7 días de operación por semana, 4 semanas por mes y 12 meses al año.

$$Egreso\ combustible_{anual} = 0.88\ l/h \left(\frac{1g}{3.785l} \right) \times 7 \times 4 \times 12 \times S/. 15$$

$$**Egreso\ combustible_{anual} = S/. 1, 171. 78**$$

Egreso por transporte para la venta de cultivo de forraje

El gasto de transporte en cada corte (6 cortes anuales) es de S/. 20, que es el traslado del forraje hacia la ciudad de Juliaca para su comercialización.

$$Egreso\ transporte_{año} = 6 \times S/. 20 = S/. 120$$

$$**Egreso\ transporte_{año} = S/. 120**$$

Cálculo de valor actual neto

Utilizando la Ecuación (30), se determinó el Valor Actual Neto (VAN) considerando una inversión inicial de S/. 4,392.00, según lo indicado en la Tabla 13. Para el cálculo, se empleó la diferencia entre ingresos y egresos como flujo de caja, aplicando una tasa de oportunidad del 12%, de acuerdo con lo señalado en la investigación de Quispe (2021).

- Ingreso total : **S/. 2, 400**
- Egreso total : **S/. 2, 392**

Por lo tanto el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -4,392.00 + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^1} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^2} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^3}$$

$$+ \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^4} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^5} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^6} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^7}$$

$$+ \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^8} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^9} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{10}} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{11}}$$

$$+ \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{12}} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{13}} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{14}} + \frac{2,400 - 2,392}{(1 + 0.12)^{15}}$$

$$VAN = - 4,392.00S/ 7.34 + S/ 6.55 + S/ 5.85 + S/ 5.22 + S/ 4.66 + S/ 4.16$$

$$+ S/ 3.72 + S/ 3.32 + S/ 2.96 + S/ 2.65 + S/ 1.88 + S/ 1.68 + S/ 1.50$$

$$VAN = -S/. 4, 336. 04$$

El Valor Actual Neto (VAN) resulta negativo, porque los flujos de efectivo provocado por el proyecto son demasiado bajos para recuperar el costo inicial de S/. 4,392. Aunque los ingresos y egresos son casi iguales, la diferencia mínima e insuficiente frente al costo de oportunidad del 12 %.

Tabla 15

Flujo de caja proyectado con grupo electrógeno a 15 años.

Año	EGRESOS		INGRESOS	Flujo neto de efectivo	Flujo actualizado al 12%	Beneficio neto
	Inversión Inicial	Egreso total	Ingreso total			
0	S/. 4,392.00					-S/ 4,392.00
1		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 7.34	-S/ 4,384.66
2		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 6.55	-S/ 4,378.11
3		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 5.85	-S/ 4,372.27
4		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 5.22	-S/ 4,367.04
5		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 4.66	-S/ 4,362.38
6		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 4.16	-S/ 4,358.22
7		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 3.72	-S/ 4,354.50
8		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 3.32	-S/ 4,351.18
9		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 2.96	-S/ 4,348.22
10		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 2.65	-S/ 4,345.57
11		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 2.36	-S/ 4,343.21
12		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 2.11	-S/ 4,341.10
13		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 1.88	-S/ 4,339.22
14		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 1.68	-S/ 4,337.54
15		S/. 2,392	S/. 2,400	S/. 8.22	S/ 1.50	-S/ 4,336.04

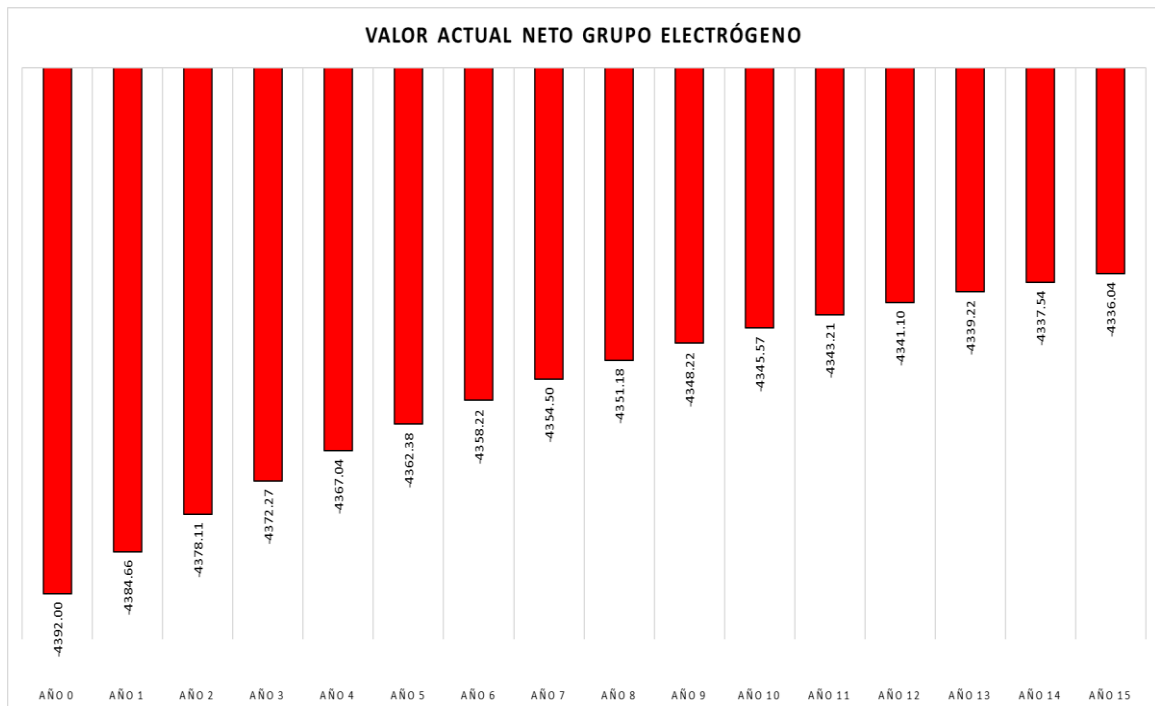
Nota. Elaboración propia.

Al descontar estos pequeños flujos, su valor presente disminuye aún más, impidiendo cubrir el desembolso inicial. Un VAN negativo indica que el proyecto no tiene el valor económico suficiente y no cumple con la rentabilidad mínima exigida. Por tanto, financieramente no es conveniente ejecutarlo en las condiciones actuales. Se recomienda reconsiderar el diseño del proyecto o buscar alternativas más rentables como las que se implementa en nuestra tesis.

El Valor Actual Neto (VAN) calculado a 15 años permanece negativo, lo que evidencia que dicho proyecto no logra recuperar la inversión inicial. En consecuencia, no es posible determinar una Tasa Interna de Retorno (TIR), por que en ningún periodo los flujos netos alcanzan valores positivos durante el análisis.

Figura 47

Valor actual neto acumulado durante 15 años



Nota. Elaboración propia.

Con fines académicos, se elaboró la Tabla 15 para presentar de manera resumida y clara los resultados obtenidos de los principales indicadores económicos evaluados.

El sistema solar para bombeo de agua requiere una mayor inversión inicial, sin embargo, genera flujos positivos que se reflejan en un Valor Actual Neto (VAN) superior a cero, lo cual confirma su rentabilidad. Asimismo, presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor a la tasa de oportunidad (12%), evidenciando que el proyecto es económicamente aceptable y viable.

La alternativa con grupo electrógeno que alimenta la misma bomba hidráulica implica una inversión inicial menor, pero el elevado consumo de combustible y los costos operativos generan un flujo de caja neto con ganancias mínimas e insuficientes para recuperar la inversión inicial. Como consecuencia, el VAN obtenido es negativo, lo que demuestra que no es rentable y que no presenta un tiempo de recuperación a 15 años. Evidenciando que el sistema fotovoltaico demuestra una mayor rentabilidad y viabilidad económica frente al sistema de bombeo con un grupo electrógeno.

Tabla 16

Resumen del resultado del análisis económico.

INDICADOR	SISTEMA DE BOMBEO SOLAR	SISTEMA DE BOMBEO CON GRUPO ELECTRÓGENO
Inversión inicial	S/. 7,584.00	S/. 4,392.00
Valor actual neto (VAN)	S/. 3,858.25 (positivo)	-S/. 4,336.04 (negativo)
Tasa interna de retorno (TIR)	21% supera la tasa de descuento de 12%	Flujo negativo/no aplica
Tiempo de recuperación (PAY BACK)	6 años 10 meses 21 días	No se recupera en 15 años permanece negativo
Ingreso anual	S/. 2,400 (venta de forraje)	S/. 2,400 (venta de forraje)
Egresos anuales	S/. 720 (mantenimiento, operación, corte y transporte) flujo neto positivo	S/. 2,392 (combustible, mantenimiento, corte y transporte) flujo neto negativo
Tiempo de análisis	15 años	15 años
Tasa de descuento usado	12%	12%

Nota. Análisis económico del sistema de bombeo solar frente al bombeo con grupo electrógeno, está elaborado con los resultados.

Este resultado confirma que el uso de energía solar representa una opción más sostenible, optimizando los costos operativos y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Por lo tanto, la hipótesis planteada inicialmente es aceptada

4.4 Especificaciones de los componentes instalados en el sistema de bombeo solar

Electrobomba sumergible

Se eligió la electrobomba de la marca Pedrollo por su costo medio, buena altura, caudal y la disponibilidad de repuestos.

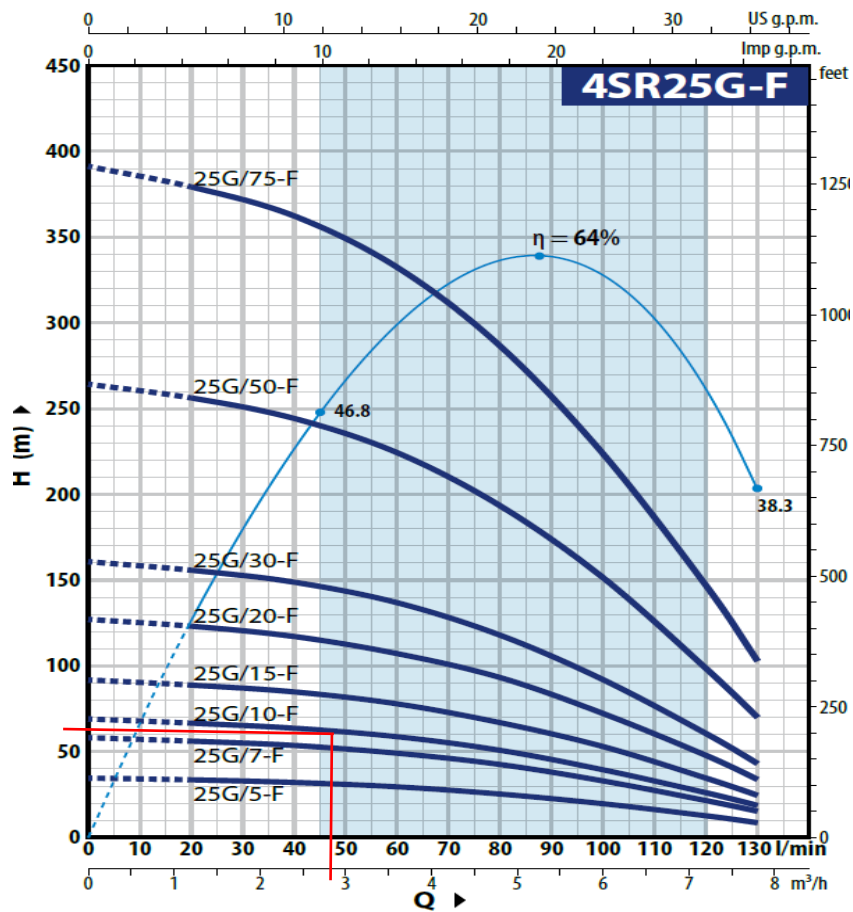
Figura 48

Electrobomba Pedrollo 4SRm 25G/10-F



Figura 49

Curva de características de la bomba sumergible Pedrollo 25G/10-F



Nota. Curva brindada por el catálogo Pedrollo.

La electrobomba seleccionada tiene una potencia de 750 W, indica que el máximo caudal que alcanza es 130 l/min y una altura manométrica de 69.5 m Figura 50. En la Figura 49 se presenta la curva característica de la electrobomba modelo 4SRm-25G/10-F. Considerando que la carga dinámica total del sistema es de 68.26 m, se proyecta este valor sobre la curva característica para determinar el caudal correspondiente. El resultado obtenido

es un caudal muy cercano al calculado previamente, de 51.55 l/min, lo que confirma la adecuada selección del equipo en función de los requerimientos del sistema.

Estas son las características de la bomba sumergible Pedrollo monofásico 4SRm 25G/10-F.

Figura 50

Curva de características de la bomba sumergible Pedrollo 25G/10-F.

MODELO		N.	POTENCIA (P2)		Q	m ³ /h									
Monofásica	Trifásica	ETAPAS	kW	HP		0	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	7.8		
4SRm 25G/5 -F	4SR 25G/5 -F	3	0.37	0.50	l/min	0	20	40	60	80	100	120	130		
4SRm 25G/7 -F	4SR 25G/7 -F	5	0.55	0.75		34.5	33.5	32	29.5	25.4	19.8	13	9		
4SRm 25G/10-F	4SR 25G/10-F	6	0.75	1		58	56	53.5	49	42.5	33	21.6	15.5		
4SRm 25G/15-F	4SR 25G/15-F	8	1.1	1.5		69.5	67	64	59	51	39.5	26	18.5		
4SRm 25G/20-F	4SR 25G/20-F	11	1.5	2	H metros	92	90	85	78	67.5	53	34.5	24.5		
4SRm 25G/30-F *	4SR 25G/30-F *	14	2.2	3		127	123	118	108	93	73	47.5	33.5		
-	4SR 25G/50-F	23	3.7	5		162	157	150	137	118	93	60.5	43		
-	4SR 25G/75-F *	34	5.5	7.5		266	258	246	226	195	152	100	70.5		
						393	381	363	333	288	225	147	104		

Nota. Características de la ficha técnica.

Panel fotovoltaico

En cuanto al panel fotovoltaicos se eligió, el producto de la marca Trina solar por manejar potencias altas, con los cual la inversión disminuye en comparación de comprar varios paneles de menor potencia, otra virtud es su presencia en el mercado local de la región de Puno.

Figura 51

Panel fotovoltaico Bifacial Trina solar 610Wp.



Inversor variador de frecuencia

El inversor variador de frecuencia que mejor se adapta a los requerimientos de potencia de entrada y salida de la electrobomba seleccionada es el modelo HSPH750LB de la marca Hober, ya que soporta un amperaje máximo de 18 A, donde se percibe que la corriente de nuestro panel fotovoltaico no supera. Además, opera en un rango de tensión de $100V_{mp} < V_{dc} < 430V_{oc}$, el cual se ajusta adecuadamente al voltaje definido en el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico.

En la Tabla 16 se describe los parámetros principales del inversor variador útiles para los cálculos.

Tabla 17

Características del inversor variador Hober HSPH750LB.

HOBER	
Datos de entrada	
Parámetros	HSPH750LB
Voltaje Vmp recomendado	100 Vmp < DC entrada < 430Voc
Máxima corriente de entrada	18 A
Datos de salida	
Potencia	750 W
Voltaje	220/240 V
Otros datos	
Eficiencia	97 %
Control y monitoreo	Opcional
Grado de protección	IP65
Protecciones	Baja/Sobre tensión de entrada DC
	Polaridad inversa DC
	Cortocircuito a la salida AC
	Sobre corriente a la salida AC
	Sobre carga

Nota. Datos de la ficha técnica del inversor variador Hober HSPH750LB.

Tubería politubo HDPE

Se eligió la tubería politubo HDPE, porque es liviano y fácil de transportar, además de ser sencillo su instalación. También se adapta bien a las condiciones del terreno y al recorrido definidos en el diseño previo a la instalación.

Figura 52

Politubo HDPE.



Los aspersores son genéricos y de conexión de media pulgada.

Sensor de nivel de agua

Se seleccionó un sensor de nivel de agua para garantizar que la bomba opere únicamente cuando el pozo cuenta con suficiente agua, evitando el funcionamiento en seco y protegiendo

todo el sistema. El inversor variador incluye la función para integrar este sensor, lo que permite un control automático y seguro.

Figura 53

Sensor de nivel de agua.



4.5 Procedimiento de instalación de sistema fotovoltaico para bombeo

4.5.1 Reconocimiento y medición de parámetros en el lugar de instalación

Se realiza una revisión del terreno con el propósito de verificar que las condiciones físicas y topográficas del lugar correspondan con lo planteado en el diseño previamente establecido. Durante esta etapa se llevó a cabo la inspección de aspectos como la nivelación, la resistencia del suelo y la accesibilidad del área de trabajo, además de verificar que no exista elementos que puedan sombrear el grupo de paneles solares. Una vez corroborada las condiciones del terreno para el proyecto, se procede a identificar, trazar y marcar con precisión los puntos donde se ejecutarán las excavaciones para las zapatas, de acuerdo con las especificaciones de la estructura del Anexo 7.

Figura 54

Proyección y preparación del lugar.



4.5.2 Encofrado de dados o zapatas para estructura

Antes de iniciar la excavación, se verifica que la orientación del sitio esté alineada con el norte geográfico, de acuerdo con los requerimientos del diseño. Una vez confirmada la orientación, se procede a realizar las excavaciones en los puntos previamente marcados.

Figura 55

Excavación y encofrado de dados para las zapatas de la estructura.



Posteriormente, se colocan moldes de madera (encofrados) para formar 6 dados o zapatas con forma de cubo directamente en el terreno. Estos dados se rellenan con concreto, y se les colocan fierros de construcción incrustados para proporcionar mayor rigidez y resistencia estructural. Esta etapa es crucial para garantizar la firmeza de la base que soportará los paneles fotovoltaicos.

4.5.3 Armado de la estructura para los paneles

Con el apoyo de un taladro, se procede a la fijación de tarugos y tornillos que aseguran los soportes frontales y posteriores de la estructura. Esta instalación permite ensamblar correctamente el armazón que sostendrá los paneles fotovoltaicos, garantizando firmeza y estabilidad.

Figura 56

Fijación y armado de la estructura de aluminio.



Luego, se realiza el montaje de la estructura, asegurando su correcta nivelación con la ayuda de un nivel de mano. De esta manera garantizamos que los elementos queden horizontales, permitiendo una instalación precisa y estable de los paneles fotovoltaicos.

Figura 57

Estructura armada para los paneles solares.



4.5.4 Montaje de paneles fotovoltaicos

Una vez que nuestra estructura está completamente armada y nivelada, se realiza el montaje de los paneles fotovoltaicos, se asegura cada panel con los elementos de sujeción correspondientes, garantizando firmeza y estabilidad para resistir condiciones climáticas adversas y optimizar la captación solar.

Figura 58

Colocado y fijación de paneles fotovoltaicos.



Además, se verifica que queden instalados con una inclinación de 15 grados Figura 59, según lo especificado en el diseño.

Figura 59

Verificación de la inclinación del arreglo fotovoltaico.



4.5.5 Armado y fijado de tablero eléctrico

Se realizó el armado y la conexión eléctrica entre el variador y los dispositivos de protección, tales como el interruptor termomagnético, los fusibles y el DPS, dentro del tablero eléctrico.

Figura 60

Instalación de dispositivos de protección y fijación de tablero eléctrico.



4.5.6 Instalación de bomba hidráulica sumergible

Se empalman los conductores eléctricos utilizando cinta vulcanizante, lo que garantiza un aislamiento adecuado para prevenir filtraciones de agua, daños por humedad y posibles cortocircuitos.

Para la sujeción y manejo de la bomba sumergible, se utilizan dos cuerdas resistentes que se anclan firmemente en el exterior del pozo. Estas cuerdas permiten un posicionamiento seguro durante la instalación y facilitan futuras tareas de mantenimiento o extracción, minimizando riesgos y daños a la bomba.

Figura 61

Conexión de los conductores eléctricos de la electrobomba.



4.5.7 Instalación de sensor de nivel de agua

El sensor de nivel de agua se instaló para medir la cantidad de agua en el pozo y controlar automáticamente su llenado y vaciado. Este dispositivo apaga la bomba cuando el nivel de agua alcanza el límite más bajo, protegiendo así el equipo de daños por funcionamiento en seco. El sensor se instaló junto con la bomba sumergible y se conectó al variador mediante un empalme adecuado, asegurando una comunicación eficiente entre ambos sistemas para un control óptimo del bombeo.

Figura 62

Instalación del sensor de nivel de agua.



4.5.8 Instalación de politubo y accesorio (HDPE)

Con base en la planificación del recorrido del agua para el sistema de riego, se marcan en el terreno los puntos donde se instalarán los codos, tees y aspersores. Posteriormente, se corta el politubo de HDPE con una hoja de corte especializada, siguiendo las medidas establecidas en el diseño para asegurar un montaje preciso y eficiente del sistema.

Figura 63

Tendido de politubo e instalación de aspersores.



4.5.9 Sumergimiento de electrobomba hidráulica

Una vez instalado el sensor de nivel de agua, realizado el conexionado eléctrico de la bomba hidráulica y unido el politubo a la salida de la electrobomba, así como colocadas

las cuerdas de sujeción, se procede a sumergir la electrobomba en el pozo. Durante esta operación, se presta especial atención a la correcta proporción y manejo de la longitud del cable eléctrico, las cuerdas de soporte y el politubo basándose en los planos del previo diseño.

Figura 64

Sumergido de electrobomba.



4.5.10 Conexión de paneles fotovoltaicos

Con el diseño y los cálculos previos, se realiza la conexión en serie de los tres paneles fotovoltaicos. Durante el proceso se tiene especial cuidado de no unir directamente los polos positivo y negativo del string, evitando así cortocircuitos.

Figura 65

Formación de string de 3 paneles.



4.5.11 Programación manual del inversor variador

Siguiendo las indicaciones del proveedor y las especificaciones del manual de usuario, el inversor variador realiza un reconocimiento automático de los equipos eléctricos conectados. Sin embargo, se recomienda verificar y ajustar manualmente los parámetros de funcionamiento del sistema para garantizar un rendimiento óptimo y seguro. En la Tabla 17, se presentan los parámetros clave que deben ser configurados.

Tabla 18

Parámetros indispensables para configurar en el inversor variador.

Parámetro	Valor o estado
Tensión de entrada Vdc del string	120 V
Tipo de corriente a la salida AC	Monofásico
Frecuencia máxima de trabajo	60 Hz
Tensión de trabajo de la electrobomba	220
Sensor de nivel de agua	N-C

Nota. Elaboración propia.

Figura 66

Configuración de los parámetros del inversor variador.



4.5.12 Fijación de conexiones eléctricas y tubería HDPE

Para asegurar la durabilidad de los materiales y el buen desempeño del sistema, es esencial que las conexiones eléctricas y los politubos (HDPE) no queden expuestos a la intemperie. Los cables se aislaron dentro de una tubería corrugada y enterrados, al igual que

los politubos, dejando expuestos únicamente los aspersores. Esto previene deformaciones, fugas de agua o corriente, y protege frente a factores climáticos.

Figura 67

Tubería corrugada y politubo conducido por el suelo.



4.5.13 Puesta en marcha del sistema fotovoltaico y electrobomba

Una vez finalizada la configuración manual del inversor variador y verificada la correcta instalación del sistema, se procede a encender la electrobomba. Durante esta etapa se observa el funcionamiento de los aspersores, examinando que nuestro sistema de riego opere de forma adecuada y continua.

Figura 68

Funcionamiento de los aspersores.



4.6 Discusión

- Durante el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se consideró el efecto de la temperatura en el arreglo de paneles solares, tomando como referencia la normativa española UNE 60364-7-712 (2017), lo que resulta más conveniente para proyectos de esta naturaleza. Si bien Aqueveque (2009), calcula este parámetro mediante la ecuación de pérdidas por temperatura en la celda, dicho procedimiento es correcto pero carece de un respaldo normativo. Asimismo, la base de datos de radiación solar utilizada corresponde a la plataforma NASA POWER, que reporta un valor mínimo crítico de 4.96 kWh/m²/día para el mes de febrero de 2020. Este valor resulta congruente con investigaciones locales posteriores, como las realizadas por (Vilca, 2021) y por (Diaz & Palli, 2021), lo que valida la consistencia de la información empleada en el dimensionamiento.
- En el sistema de control y protección, Aqueveque (2009), destaca la utilización del dispositivo flotador, elemento que también fue implementado en nuestro proyecto. Este mecanismo es uno de los más utilizados en sistemas de bombeo, ya que permite controlar el funcionamiento de la electrobomba únicamente cuando existe suficiente disponibilidad de agua, evitando así el trabajo en seco y protegiendo la duración de la electrobomba.
- Teniendo en consideración el estudio de Vilches (2024), quien analizó la viabilidad de un sistema de bombeo solar para acumular agua y usarla en un sistema de riego en zonas agrícolas aisladas. Dicho proyecto requirió una inversión inicial de S/. 65,964.17, obteniendo como resultados un VAN de S/. 32,760.78, una TIR del 19.19% y un periodo de recuperación de 5 años, 3 meses y 29 días. En nuestro proyecto, la inversión inicial de S/. 7,584.00, los indicadores económicos calculados fueron, un VAN de S/. 3,858.25, una TIR del 21% y un periodo de reintegro de la inversión en 6 años, 10 meses y 21 días, estos resultados demuestran que tanto el presente estudio como el de Vilches (2024), evidencian una coherencia de resultados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En conclusión al primer objetivo específico determinamos que el sistema fotovoltaico fue dimensionado considerando la radiación solar del mes con menor incidencia registrada en un historial de 3 años (2020-2022), correspondiente al mes de febrero del 2020, con un valor de 4.96 kWh/m²/día, obtenido de la plataforma NASA POWER. Con base en este valor, se calculó una potencia de generación P_G de 1889.00Wp, considerando el factor de seguridad del 20%, las pérdidas estimadas del 10% y el coeficiente asociado al uso de un inversor variador 0.7. Asimismo, el arreglo fotovoltaico fue evaluado en función del impacto de la temperatura ambiente, registrándose una temperatura mínima crítica de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de agosto de 2022 y una temperatura máxima de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes diciembre de 2022, esta última temperatura coincidiendo con la condición estándar de prueba (STC) del panel fotovoltaico. La verificación de estos parámetros permitió confirmar que no se superan los valores de amperaje y voltaje admitidos por el inversor variador. Se determinó que se requiere tres paneles fotovoltaicos en conexión serie, alcanzando una potencia de generación total de 1830Wp.
- En cuanto al segundo objetivo específico, concluimos que es indispensable el diseño e implementación de un sistema de control y protección para la electrobomba de 1HP, incorporando un sensor de nivel de agua que detenga automáticamente el funcionamiento de la electrobomba cuando el pozo no disponga de suficiente agua y la reactive cuando el nivel sea adecuado para el abastecimiento. Asimismo, se determinó la necesidad de instalar dispositivos de protección eléctrica, según la normativa vigente IEC 62548 (2017), que incluye, un interruptor termomagnético con capacidad de 550V y 20A, fusibles de 20A para cada polo en la entrada del inversor variador y un dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) de 600V en corriente continua.
- Al respecto del último objetivo específico concluimos que el proyecto es viable y rentable económicamente, comprobado con indicadores de Valor Actual Neto (VAN) de S/. 3,858.25, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de un 21% y un tiempo de retorno de inversión (PAY BACK) de 6 años, 10 meses y 21 días, Se realizó la evaluación a 15 años. En el análisis económico del sistema riego con un grupo

electrógeno (G.E.), su indicador de VAN es de -S/ 4,336.04 con un análisis de 15 años, lo que da a conocer que dicho proyecto no es rentable. Por lo tanto el sistema de bombeo de agua basado en energía fotovoltaica resulta más rentable que el bombeo utilizando un grupo electrógeno como fuente de energía.

- Finalmente, como conclusión del objetivo general, se logró el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico destinado al funcionamiento de una electrobomba de 1 HP para riego agrícola. El sistema instalado está conformado por tres paneles fotovoltaicos de la marca Trina Solar de 610 Wp cada uno, un inversor variador de la marca Hober con capacidad de 750 W, una electrobomba Pedrollo de 1 HP y el sistema de control y protección que incluye un sensor de nivel de agua y los dispositivos de protección.

5.2 Recomendaciones

- Para la implementación del sistema fotovoltaico, es fundamental basarse en el dimensionamiento previo realizado considerando las características técnicas de los componentes, como los paneles solares, inversor variador, el tablero eléctrico y los elementos complementarios.
- Durante la instalación de las conexiones eléctricas, es esencial tomar como referencia las recomendaciones especificadas en el manual del usuario, así como los planos de diseños eléctricos elaborados previamente, con el fin de garantizar una instalación segura, eficiente y acorde con las especificaciones técnicas del sistema.
- Aun cuando se cuente con los cálculos requeridos para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y minimizar el riesgo de fallas futuras, resulta crucial considerar la instalación de dispositivos de protección. Estos elementos proporcionan un respaldo ante eventos imprevistos que puedan comprometer el bienestar corporal de las personas y evitar pérdidas materiales.
- Es importante fomentar el uso de la tecnología fotovoltaica con este fin, mediante la gestión y presentación de proyectos de este tipo al MINEM y otros organismos ejecutivos del Estado. De esta forma, se impulsa la producción agrícola y se mejora la situación económica de las familias rurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, J. L. (2016). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministrar de agua al caserío plan manzanas. provincia y departamento Cajamarca*. Cajamarca.
- Aqueveque, E. J. (2009). *Bombeo de agua para riego en cerro Calán utilizando energía solar fotovoltaica*. Santiago de Chile.
- Arias, W. D. (2017). *Trabajo de diplomado en opción al título de Ingeniero Eléctrico*. Moa.
- Arizaca, A. (2022). *Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el centro experimental chuquibambilla*. Puno.
- BloombergNEF. (2024). *Tier 1 PV Module Maker List, 4Q 2024*. Nueva York.
- Calderón, B. J. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica para arroz en el predio Los Rojas*. Lambayeque-Perú.
- Cardenas, E. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar fotovoltaico aplicado al riego agrícola*. Ecuador.
- Castejon, A., & Santamaria, G. (2010). *En Instalaciones solares fotovoltaicas* (pág. 13). Madrid, España: Editex.
- Castillo, J. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo de agua subterránea con energía solar fotovoltaica para riego en la comunidad de valencia*. Bolivia.
- Çengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.
- Contreras, F. D. (2006). *Interruptor Estáticos para Alimentación de Equipos*. Bogotá.
- Dávalos, J. (2019). *Diseño sistema de bombeo fotovoltaico para riego en el caserío La Guayaba distrito de Bellavista*. Jaen.
- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. Catamarca, Argentina.
- Diaz, E. A., & Palli, H. S. (2021). *Diseño e implementación de un controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico en la región Puno*. Puno.
- Farfán, J. L. (2018). *Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea, cuenca Motupe-Olmos- La Leche*. Lambayeque.

- Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores*. Sevilla, España.: Junta de Andalucía.
- Franco, P., & Pamela, K. (2017). *Análisis comparativo de radiación solar vs. Actividad solar en Quito y sus efectos sobre la salud en el periodo 2007 al 2016*. Quito.
- Gomez, L. (2016). *Estudio de prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico con conexión a red de 70 kw: análisis de caso en Valledupar, Colombia*. colombia: Universidad de Buenos Aires.
- Gonzales, L. E., & Lanuza, Á. R. (2018). *Propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción comarca Ato viejo San Nicolás – Estelí, durante el periodo de julio a noviembre del 2017*. Estelí.
- Hernández, C. E., & Carpio, N. (2019). *Introducción a los tipos de muestreo*. El Salvador: alerta.
- Huallpa, M. A. (2022). *Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje del nivel 2370 al nivel 2620 de la Minera Aurífera Retamas S.A*. Cerro de Pasco.
- IEC-62548. (2017). *Arreglo fotovoltaicos. Normativa Europea*.
- Jara, H. J. (2021). *diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupito-La Libertad*. Pimentel, Perú.
- Lira, A. (2017). *Comprensión de los conceptos de irradiancia*.
- Mejía, E. J. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica*. Bagua Grande, Perú.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Mexico: CECOSA.
- NTP.EM. (2009). *Instalaciones con energía solar. Ministerio de Energía y Minas EM.080*. Perú.
- Ocampo, T. R. (2020). *Viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar en el fundo Manto de Cristo*. Lambayeque-Perú.
- Ordoñez, M., & Quisnancela, K. (2013). *Automatización de banco de pérdidas del laboratorio de turbomáquinas de la facultad de mecánica*. Riobamba, Ecuador.

- Ortiz, E. V. (2016). *Diseñar un sistema de riego para el cultivo de frutales en el área de ladera de la finca Bella Vista, en la vereda Agua Blanca del Municipio de Santander de Quilichao*.
- Patricio, R. (2013). *Diseño y Construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el Cantón Cevallos*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Peralta, A. A. (2018). *Evaluación técnico-económica de una instalación de bombeo solar fotovoltaico aplicada a la ampliación de la frontera de Arequipa*. Arequipa.
- Pérez, J. C. (2019). *Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación creg 030 de 2018 para inyectar excedentes de energía a la red*. Medellín.
- Picarte, E. (2019). *Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico bifacial*. Arica, Chile.
- Quispe, J. L. (2021). *Proyecto de factibilidad de bombeo por energía fotovoltaica de agua potable para los anexos de la Molina, La Cuenca, Alto Cerro Verde del distrito de Uchumayo-Arequipa*. Arequipa, Perú.
- Ruiz, G. (28 de Marzo de 2025). *Accesorio de tuberías HDPE*. Obtenido de Ccallpa soluciones en en geosintéticos: www.ccallpa.com
- Singh, D. B., Mahajan, A., Devli, D., Bharti, K., Kandari, S., & Mittal, G. (2021). A mini review on solar energy based pumping system for irrigation. *Materials Today: Proceedings*, 420.
- Sosa, E. D. (2017). *Diseño de sistema de bombeo solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad para la Comunidad Quenafajja del Distrito de Acora Provincia de Puno*. Puno, Perú.
- UNE 60364-7-712. (2017). *Sistema de alimentación solar fotovoltaica (FV)*. Madrid.
- Vilca, J. R. (2021). *Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de rosaspata ubicado en la cuenca llallimayo*. Puno.
- Vilches, L. G. (2024). *Diseño de un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas*. Chiclayo.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades del agua y pérdidas hidráulicas.

- Viscosidad dinámica del agua saturada.

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—

Fuente: Transferencia de calor y masa (Çengel, 2007).

- Resistencia en válvulas y juntas.

Tipo		Longitud equivalente en diámetros de conducto, L_e/D
Válvula de globo	Completamente abierta	340
Válvula de ángulo	Completamente abierta	150
Válvula de compuerta	Completamente abierta	8
	3/4 abierta	35
	1/2 abierta	160
	1/4 abierta	900
Válvula de verificación	Tipo giratorio	100
Válvula de verificación	Tipo de bola	150
Válvula de mariposa	Completamente abierta	45
Codo estándar de 90°		30
Codo de radio de largo de 90°		20
Codo de calle de 90°		50
Codo estándar de 45°		16
Codo de calle de 45°		26
Codo de devolución cerrada		50
Te estándar	Con flujo a través de un tramo	20
Te estándar	Con flujo a través de una rama	60

Fuente: Mecánica de fluidos aplicada (Mott, 1996).

- Factor de fricción en tuberías completas

Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_f	Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_f
$\frac{1}{2}$	0.027	4	0.017
$\frac{3}{4}$	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 $\frac{1}{4}$	0.022	8-10	0.014
1 $\frac{1}{2}$	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 $\frac{1}{2}$, 3	0.018		

Fuente: Mecánica de fluidos aplicada (Mott, 1996).

Anexo 2. Componente fotovoltaico

- Ficha técnica del panel fotovoltaico bifacial.

Mono Multi Solutions

Vertex N

N-type i-TOPCon bifacial dual glass

Monocrystalline module

PRODUCT: TSM-NEG19RC.20
 POWER RANGE: 585-610W

610W

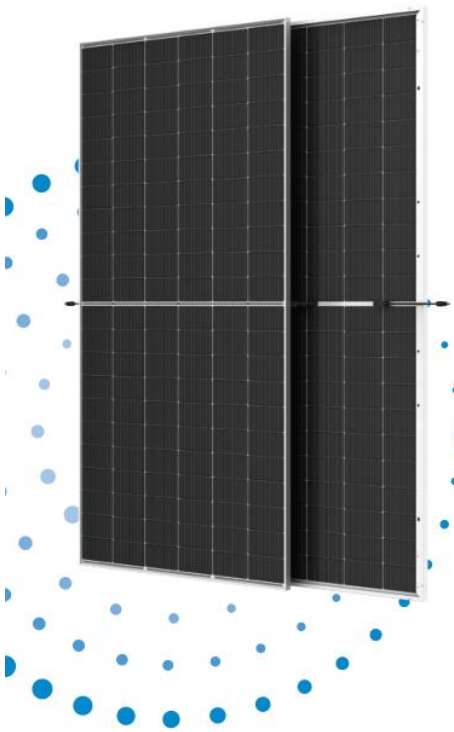
MAXIMUM POWER OUTPUT

0~+5W

POSITIVE POWER TOLERANCE

22.6%

MAXIMUM EFFICIENCY



High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance of System) cost, shorter payback time
- More energy harvest with cutting-edge N-type i-TOPCon technology
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher container space utilization effectively reduces the freight cost

High power up to 610 W

- Up to 22.6% module efficiency with high density interconnect technology
- SMBB (Super multi-busbar) technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection

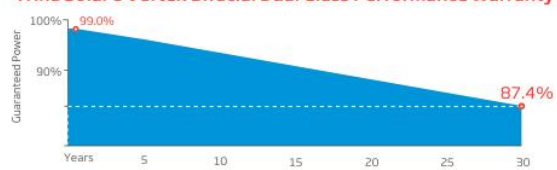
High reliability

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

High energy yield


- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- Lower degradation: 1% first year, 0.4% annually thereafter
- Lower temperature coefficient (-0.30%)
- Up to 30% additional power gain from back side depending on albedo

Trina Solar's Vertex Bifacial Dual Glass Performance Warranty




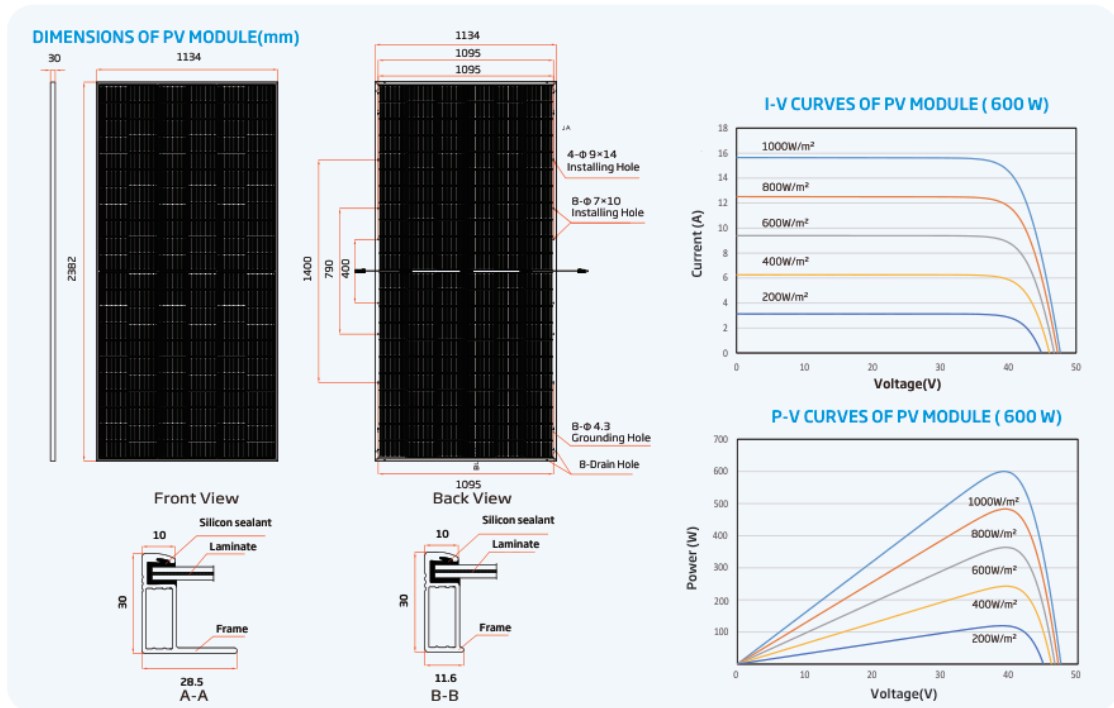
Years	Guaranteed Power (%)
0	100.0%
30	87.4%

Comprehensive Products and System Certificates



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System





MECHANICAL DATA

Solar Cells	N-type Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2382*1134*30 mm (93.78*44.65*1.18 inches)
Weight	33.7kg (74.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)

Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²) Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4 PLUS / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

ELECTRICAL DATA (STC & NOCT)

Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)*	585	446	590	450	595	454	600	458	605	461	610	465
Power Tolerance-P _{MAX} (W)	0 ~ +5											
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	39.5	37.1	39.7	37.3	40.0	37.6	40.3	37.8	40.5	38.0	40.8	38.3
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	14.82	12.02	14.86	12.05	14.89	12.08	14.91	12.12	14.94	12.14	14.96	12.16
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	47.5	45.0	47.8	45.3	48.1	45.6	48.4	45.9	48.7	46.1	49.0	46.4
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	15.68	12.64	15.72	12.67	15.76	12.70	15.80	12.73	15.83	12.76	15.86	12.78
Module Efficiency η _m (%)	21.7		21.8		22.0		22.2		22.4		22.6	

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. *Measuring tolerance: ±3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)

Backside Power Gain	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Total Equivalent power -P _{MAX} (Wp)	614	644	620	649	625	655	630	660	635	666	641	671
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	39.5	39.5	39.7	39.7	40.0	40.0	40.3	40.3	40.5	40.5	40.8	40.8
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	15.56	16.30	15.60	16.35	15.63	16.38	15.66	16.40	15.69	16.43	15.71	16.46
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	47.5	47.5	47.8	47.8	48.1	48.1	48.4	48.4	48.7	48.7	49.0	49.0
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	16.46	17.25	16.51	17.29	16.55	17.34	16.59	17.38	16.62	17.41	16.65	17.45

Power Bifaciality:80±5%

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.24%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85° C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

WARRANTY

- 12 year Product Workmanship Warranty
- 30 year Power Warranty
- 1% first year degradation
- 0.40% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

- Modules per box: 36 pieces
- Modules per 40' container: 720 pieces

Anexo 3. Características de la bomba hidráulica sumergible

- Bomba hidráulica modelo 4SR-F.



Electrobombas sumergidas de 4"



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **240 l/min (14.4 m³/h)**
- Altura manométrica hasta **447 m**

LÍMITES DE USO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **200 g/m³**
- Profundidad de uso bajo el nivel del agua:
 - **200 m** con motores 4PD, **100 m** con motores 4PS
- Profundidad de uso bajo el nivel del agua **200 m**
- Funcionamiento:
 - **en vertical**
 - **en horizontal** con los siguientes límites:
 - 4SR10G - 4SR13G - 4SR25G hasta **16 etapas**
 - 4SR33G - 4SR45G hasta **9 etapas**
- Arranques/hora: **20** a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento motor mínimo **8 cm/s**
- Funcionamiento continuo **S1**

USOS E INSTALACIONES

Electrobombas sumergibles de 4" indicadas para el bombeo de aguas limpias, utilizables en múltiples aplicaciones, como, por ejemplo, el suministro de agua doméstica, riego, invernaderos y sierras, instalaciones hídricas para comunidades y presurización.

Los componentes hidráulicos, acoplados a un motor eléctrico de alto rendimiento, hacen que la electrobomba 4SR sea extremadamente eficiente en la categoría.

Ahorro económico en el uso del agua gracias al elevado rendimiento y al consiguiente reducido consumo eléctrico. La construcción con impulsores flotantes permite el bombeo de agua con un contenido de arena hasta **200 g/m³**.

La instalación es posible en posición vertical u horizontal.

PATENTES

- Patent n° EP3123031, EP2419642

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

MOTOR ELÉCTRICO

Trifásica 380 V - 60 Hz - Monofásica 220 V - 60 Hz

- **Condensador incluido en el embalaje**

Cable de alimentación de:

- **2 m** para potencias de 0.37 a 2.2 kW
- **3.6 m** para potencias de 3 a 7.5 kW.

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes; recomendado para potencias desde 2.2 kW hasta 7.5 kW



CAMISA DE ENFRIAMIENTO

Fuente: ficha técnica de la electrobomba sumergible Pedrollo 4SR-F.

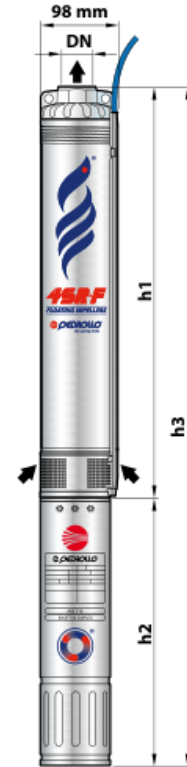
- Características morfológicas de la bomba hidráulica sumergible 4SR-F.



DIMENSIONES Y PESOS (Bombas combinadas con motores sumergibles 4PD)

MODELO	DN	N. ETAPAS	DIMENSIONES mm			kg	
			h1	h2	h3		
Monofásica							
4SRm 10G/5 -F - PD	1 1/4" NPT	6	283	331	614	10.8	
4SRm 10G/7 -F - PD		9	343	331	674	11.2	
4SRm 10G/10 -F - PD		12	402	356	758	13.0	
4SRm 10G/15 -F - PD		16	508	396	904	16.0	
4SRm 10G/20 -F - PD		21	608	437	1045	19.4	
4SRm 10G/30 -F - PD		27	727	492	1219	23.7	
4SRm 13G/5 -F - PD		5	263	331	594	10.6	
4SRm 13G/7 -F - PD		7	303	331	634	10.9	
4SRm 13G/10 -F - PD		9	343	356	699	12.5	
4SRm 13G/15 -F - PD		12	402	396	798	15.0	
4SRm 13G/20 -F - PD		16	508	437	945	17.9	
4SRm 13G/30 -F - PD		22	627	492	1119	22.2	
4SRm 25G/5 -F - PD		2" NPT	3	238	331	569	10.2
4SRm 25G/7 -F - PD			5	288	331	619	10.5
4SRm 25G/10 -F - PD	6		313	356	669	12.1	
4SRm 25G/15 -F - PD	8		363	396	759	14.3	
4SRm 25G/20 -F - PD	11		437	437	874	16.9	
4SRm 25G/30 -F - PD	14		538	492	1030	20.8	
4SRm 33G/5 -F - PD	3		258	331	589	10.2	
4SRm 33G/7 -F - PD	4		289	331	620	10.4	
4SRm 33G/10 -F - PD	5		320	356	676	12.1	
4SRm 33G/15 -F - PD	6		352	396	748	14.0	
4SRm 33G/20 -F - PD	8		415	437	852	16.3	
4SRm 33G/30 -F - PD	12		566	492	1058	20.5	
4SRm 45G/10 -F - PD	3		258	356	614	11.5	
4SRm 45G/15 -F - PD	4		289	396	685	13.5	
4SRm 45G/20 -F - PD	6	352	437	789	15.5		
4SRm 45G/30 -F - PD	9	446	492	938	19.8		

MODELO	DN	N. ETAPAS	DIMENSIONES mm				kg
			h1	h2	h3	3~	
Trifásica							
4SR 10G/5 -F - PD	1 1/4" NPT	6	283	331	614	10.8	
4SR 10G/7 -F - PD		9	343	331	674	11.2	
4SR 10G/10 -F - PD		12	402	356	758	13.0	
4SR 10G/15 -F - PD		16	508	371	879	15.2	
4SR 10G/20 -F - PD		21	608	396	1004	17.9	
4SR 10G/30 -F - PD		27	727	437	1164	20.5	
4SR 10G/50 -F - PD		42	1123	505	1628	25.6	
4SR 13G/5 -F - PD		5	263	331	594	10.6	
4SR 13G/7 -F - PD		7	303	331	634	10.9	
4SR 13G/10 -F - PD		9	343	356	699	12.5	
4SR 13G/15 -F - PD		12	402	371	774	14.2	
4SR 13G/20 -F - PD		16	508	396	904	16.4	
4SR 13G/30 -F - PD		22	627	437	1064	19.0	
4SR 13G/50 -F - PD		34	964	505	1469	29.2	
4SR 25G/5 -F - PD	2" NPT	3	238	331	569	10.2	
4SR 25G/7 -F - PD		5	288	331	619	10.5	
4SR 25G/10 -F - PD		6	313	356	669	12.1	
4SR 25G/15 -F - PD		8	363	371	734	13.5	
4SR 25G/20 -F - PD		11	437	396	833	15.4	
4SR 25G/30 -F - PD		14	538	437	975	17.6	
4SR 25G/50 -F - PD		23	762	505	1267	24.6	
4SR 25G/75 -F - PD		34	1134	589	1723	34.5	
4SR 33G/5 -F - PD		3	258	331	589	10.2	
4SR 33G/7 -F - PD		4	289	331	620	10.4	
4SR 33G/10 -F - PD		5	320	356	676	12.1	
4SR 33G/15 -F - PD		6	352	371	723	13.2	
4SR 33G/20 -F - PD		8	415	396	811	14.8	
4SR 33G/30 -F - PD		12	566	437	1003	17.3	
4SR 33G/50 -F - PD	19	786	505	1291	24.6		
4SR 33G/75 -F - PD	28	1095	589	1684	32.5		
4SR 33G/100 -F - PD	36	1418	800	2218	47.0		
4SR 45G/10 -F - PD	2" NPT	3	258	356	614	11.5	
4SR 45G/15 -F - PD		4	289	371	660	12.6	
4SR 45G/20 -F - PD		6	352	396	748	14.0	
4SR 45G/30 -F - PD		9	446	437	883	16.6	
4SR 45G/50 -F - PD		14	629	505	1134	22.4	
4SR 45G/75 -F - PD		22	907	589	1496	29.9	
4SR 45G/100 -F - PD		28	1095	800	1895	41.1	



DIMENSIONES Y PESOS (solo hidráulica)

MODELO	DN	N. ETAPAS	DIMENSIONES mm		kg
			h1	h	
4SR 10G/5 -F - HYD	1 1/4" NPT	6	283	286	3.5
4SR 10G/7 -F - HYD		9	343	346	3.9
4SR 10G/10 -F - HYD		12	402	405	4.4
4SR 10G/15 -F - HYD		16	508	511	5.5
4SR 10G/20 -F - HYD		21	608	611	7.4
4SR 10G/30 -F - HYD		27	727	730	8.5
4SR 10G/50 -F - HYD		42	1123	1126	8.8
4SR 13G/5 -F - HYD		5	263	266	3.3
4SR 13G/7 -F - HYD		7	303	306	3.6
4SR 13G/10 -F - HYD		9	343	346	3.9
4SR 13G/15 -F - HYD		12	402	405	4.7
4SR 13G/20 -F - HYD		16	508	511	5.8
4SR 13G/30 -F - HYD		22	627	630	7.0
4SR 13G/50 -F - HYD		34	964	967	12.9
4SR 25G/5 -F - HYD	2" NPT	3	238	241	3.0
4SR 25G/7 -F - HYD		5	288	291	3.3
4SR 25G/10 -F - HYD		6	313	316	3.5
4SR 25G/15 -F - HYD		8	363	366	4.0
4SR 25G/20 -F - HYD		11	437	440	4.8
4SR 25G/30 -F - HYD		14	538	541	5.6
4SR 25G/50 -F - HYD		23	762	765	8.2
4SR 25G/75 -F - HYD		34	1134	1137	13.8

MODELO	DN	N. ETAPAS	DIMENSIONES mm		kg
			h2	h	
4SR 33G/5 -F - HYD	2" NPT	3	258	261	2.9
4SR 33G/7 -F - HYD		4	289	292	3.2
4SR 33G/10 -F - HYD		5	320	323	3.5
4SR 33G/15 -F - HYD		6	352	355	3.7
4SR 33G/20 -F - HYD		8	415	418	4.2
4SR 33G/30 -F - HYD		12	566	569	5.3
4SR 33G/50 -F - HYD		19	786	789	8.0
4SR 33G/75 -F - HYD		28	1095	1098	11.4
4SR 33G/100 -F - HYD		36	1418	1421	17.3
4SR 45G/10 -F - HYD		3	258	261	2.9
4SR 45G/15 -F - HYD		4	289	292	3.2
4SR 45G/20 -F - HYD		6	352	355	3.7
4SR 45G/30 -F - HYD		9	446	449	4.5
4SR 45G/50 -F - HYD		14	629	632	6.0
4SR 45G/75 -F - HYD	22	907	910	9.6	
4SR 45G/100 -F - HYD	28	1095	1098	11.4	



Fuente: ficha técnica de la electrobomba sumergible Pedrollo 4SR-F.

Anexo 4. Fichas técnicas de los dispositivos de protección

- Ficha técnica del termomagnético DC.

FPV-63

Solar DC Mini Circuit Breaker (DC MCB)



► Application

FPV-63 DC MCB supplementary protectors are designed to provide overcurrent protection within appliances or electrical equipment, where a branch circuit protection is already provided or not required. Devices are designed for direct current (DC) control circuit applications.



► Specifications

FPV-63 Series Circuit Breaker		FPV-63				
Frame Degree Rated Current (A)		63				
Pole		1P	2P	3P	4P	2P(CUSTOMIZED)
Rated Operating Voltage (V DC)		250	550	750	1000	800
Rated Insulation Voltage Ui (V DC)		1200V				
Rated Current In (A)		3,6,10,16,20,25,32,40,50,63A				
Rated Impact Voltage Uimp (kV)		4				
Ultimate Breaking Capacity Icu (kA)		6				
Run Breaking Capacity Ics (%Icu)		75%				
Curve Type		C				
Trip Type		Thermal-magnetic				
Mechanical	Actual average value	9700				
	Standard value	9700				
Electric	Actual average value	300				
	Standard value	300(accord to TUV standard)				

► Control and Indication

Shunt release (SHT)	
Undervoltage release (UNT)	
Auxiliary contact (AX)	Option
Alarm contact (AL)	

► Condition and Installation

Wiring capacity (mm ²)		In ≤ 32A, 1-6, I ≥ 40A, 10-16				
Ambient temperature (°C)		-35~+70				
Altitude		≤2000				
Relative humidity		≤95%				
Pollution Level		3				
Installation Environment		No obvious shock and vibration				
Installation category		Class III				
Installation		DIN Standard rail				
Dimensions(W)x(H)x(Deep)	W	18	36	54	72	
	H	80	80	80	80	
	Deep	71	71	71	71	
Weight (kg)		0.12	0.24	0.36	0.48	

Fuente: Catálogo de la empresa FEEO SOLAR.

- Ficha técnica del dispositivo de protección contra sobretensión.

FSP-D40



Type2 Solar DC Surge Protective Device (DC SPD)

► Application

Surge protective device, protect against lightning surge voltages in solar system (photovoltaic power supply system). These units must be installed in parallel on the dc networks to be protected and provide common and different modes protection. Its installed location are recommended at both ends of the dc power supply line (solar panel side and inverter/converter side), especially if the line routing is external and long. High energy MOVs equipped with specific thermal disconnectors and related failure indicators.



► Specifications

FSP-D40 Surge protector	FSP-D40				
PVDC - specific	EN50539-11				
Pole	2P	2P	3P	3P	2P(CUSTOMIZED)
Electrical parameter					
Classified test	II	II	II	II	II
Uoc max (VDC)	600	800	1000	1500	12/24
Uc (VDC)	600	800	1000	1500	12/24
In (8 /20 μs) (kA)	20	20	20	20	20
I _{ma} x (8 /20 μs) (kA)	40	40	40	40	40
Up (kV)	2.0	2.5	3.8	5.3	2.0

► Remote Signal Contact

Remote signal contact	Maximum working voltage (V)	250VAC/30VDC	250VAC /30VDC
	Maximum working current (A) IA (250 V /AC)	1A (250V/AC)	1A (250V /AC)
	1A (30 V DC)	1A (30V/AC)	1A (30V /AC)

► Installation and Dimensions

Wiring capacity(mm ²)	Hard wire	4-25	4-25
	Flexible wire	4-16	4-16
Stripping length(mm)		10	10
Terminals crowa		M5	M5
Torque (Nm)	Main circuit	3.5	3.5
	Remote signal contact	0.25	0.25
Protection class	All profile	IP40	IP40
	Connection port	IP20	IP20
Installation environment		No obvious shock and vibration	
Altitude (m)		≤2000	≤2000
Working Temperature		-30°C ~ +70°C	-30°C ~ +70°C
Relative humidity		30%-90 %	30%-90 %
How to install		Installed with H.35-7.5/DIN35 steel mounting rail	
Size (mm) (W x H x L)	W	36	54
	H	90	90
	L	67.6	67.6
Weight (kg)		0.24	0.36

Fuente: Catálogo de la empresa FEEO SOLAR.

- Ficha técnica del portafusibles.

FDS-32

Solar DC Fuse

YUEQING FEEO
ELECTRIC CO.,LTD

► Application

A range of 10x38mm fuse links specifically designed for protecting photovoltaic strings. These fuse links are capable of interrupting low overcurrents associated with faulted photovoltaic string arrays (reverse current, multi-array fault).

► Structural Characteristics

- According to IEC60269-1
- Rated current: 1-32A
- Rated voltage: DC 1000V
- Rated breaking capacity: DC 20KA
- Operating class gPV for Solar protection



► Specifications

Pole	1P
Rated Voltage Ue (V DC)	1000
Rated Current In (A)	1,2,3,4,5,6,8,10,12,15,20,25,32
Biggest Block Ability(KA)	20
The Most High Power Consumption(W)	3.5

► Connection and Installation

Connection(mm ²)	2.5-10
Working Temperature(°C)	-30~+70
Resistance And Damp Hot	Class 2
Altitude(m)	≤ 2000
Relative Humidity	≤ 95%
Protection Class/Degree	IP20
Pollution	3
Installation Environment	No obvious shock and vibration
Installation Class/Type	Class III/DIN rail

► Size(mm)

(WxHxL)	Size/Dimension(mm)	
	W	18
	H	60
	L	78
Fuse Size		10x38
Fuse Link Weight(kg)		0.011
Fuse holder weight(kg)		0.07

► Application conditions

- Photovoltaic system fuse accord with UL248-1 standard.
- Photovoltaic battery dc fuse designed to used for photovoltaic (PV) system.
- Main effect is to protect the solar panels. Solar panels points in effective condition is broken.
- Fault light cells break points at the same time, does not affect other normal work of light from the stack.
- Technical Data Rated coltage: DC1000V Breaking capacity: 25KA Function level: PV.

Fuente: Catálogo de la empresa FEEO SOLAR.

Anexo 5. Características del grupo electrógeno

- Ficha técnica del generador (G.E.).

HONDA

LÍNEA DE GENERADORES



GENERADOR EU22i

Potencia Máxima	Nivel de Ruido	Uso Continuo
2.2 KVA	57 DBA	8.1 HORAS

Generador monofásico de 2.2 Kva. Salida de 220V en corriente alterna y 12V en corriente continua, insonorizado y de bajo consumo (8.1 horas de operación en modo ECO-THROTTLE).

GENERADOR	
FRECUENCIA C.A.	50 HZ
VOLTAJE C.A.	220 V
POTENCIA MAX. C.A.	2,2 KVA
POTENCIA NOM. C.A.	1,8 KVA
SALIDA DE C.C.	12 V - 8 A
USO CONTÍNUO	8,1 HS
NIVEL DE RUIDO	57 DB(A)

MOTOR	
TIPO DE MOTOR	GXR120 - OHV - 4 TIEMPOS
REFRIGERACIÓN	POR AIRE
CILINDRADA	121 CM3
POTENCIA NETA	3,6 HP (2,1 KW) A 3600 RPM
ENCENDIDO	TRANSISTORIZADO
ARRANQUE	MANUAL

DIMENSIONES	
ANCHO	290 MM
LARGO	510 MM
ALTO	425 MM
PESO EN SECO	21 KG

OTRAS ESPECIFICACIONES	
CAPACIDAD DE COMBUST.	3,6 LTS
CONS. ESP. DE COMBUST.	0,88 LTS/HS A 36000 RPM
CAPACIDAD DE ACEITE	0,44 LTS
ECO THROTTLE	SI
IND. DE NIVEL DE COMBUST.	NO
ALERTA DE ACEITE	SI
SALIDA C.C.	SI
REGULADOR DE VOLTAJE	INVERTER
VOLTÍMETRO	NO
INTERRUPTOR TÉRMICO C.A.	SI
INTERRUPTOR TÉRMICO C.C.	SI

pf.honda.com.ar

[f /HondaPFArgentina](#)

[@ /hondapfargentina](#)

[v /HondaPowerProductsArgentina](#)

Fuente: Catálogo de generadores Honda (EU22i).

Anexo 6. Características del inversor variador

- Ficha técnica del inversor variador.

Moving Water is Solar Business

SOLAR PUMPING

INVERTER



COMPANY PROFILE

Hober Technology Co.,LTD is a professional large-scale manufacturer of solar pump inverter, integrating development and production together. As a leader in china,we have patent by ourselves and CE,ISO90001 certification,and still focus on research,development and innovation,Our company was established in 2009, Located near Hongkong which convenient sea,land and air transportation.

Solar Pump Inverter

Solar pumping inverter converts DC power from the solar array into AC power to drive the pump. With the function of MPPT(maximum power point tracking), it regulates the output frequency according to irradiation in real time to achieve the maximum power.



CONTACT US www.hobertek.com

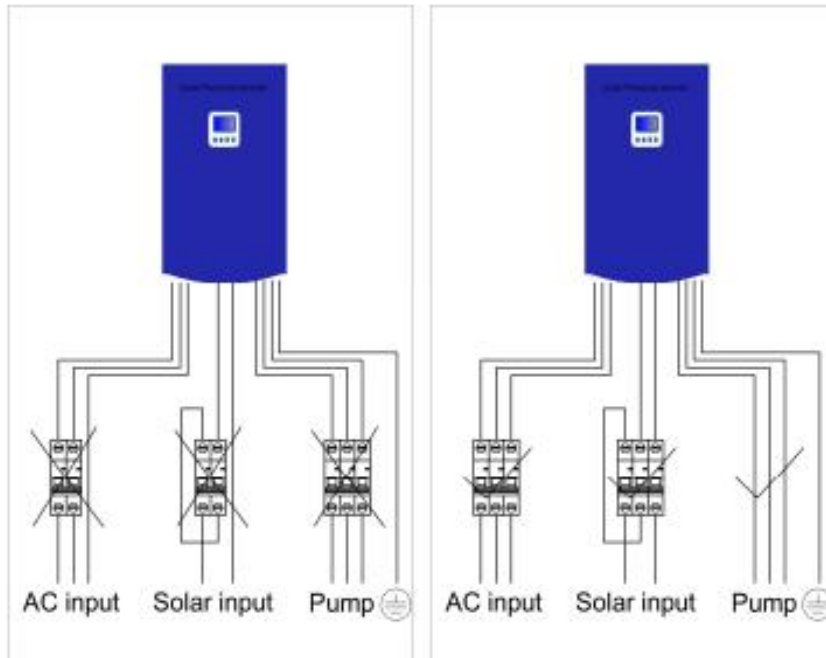
Tel: +86-757-81807569

Address: A14 Building, XingGuangYuan Industry Base, ShiShan, NanHai , FoShan, GuangDong Province, China

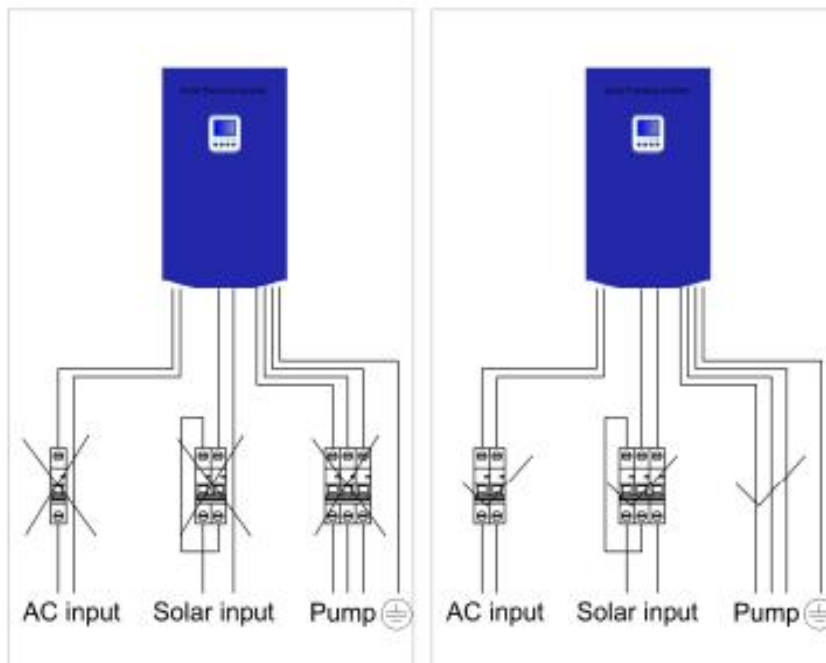
Technical Specifications				
Model	HSPH750LB	HSPH1500LB	HSPH1500L	HSPH2200L
Solar Input				
Max Voc Voltage	450V			
Min Vmp Voltage	80V	120V	200V	
Recommend Vmp Voltage	100Vmp<DC Input<430Voc (Built-in booster)	160Vmp<DC Input<430Voc (Built-in booster)	300Vmp<DC Input<430Voc (Only Solar Input) 340Vmp<DC Input<400Voc (Hybrid Power Input)	
Max MPPT Efficiency	99%			
Max Input Current	18 A	18 A	10 A	11 A
Number Of Strings	1			
Inside Booster	YES	YES	N	N
Hybrid AC Input				
Voltage	220/240V 1-Phase			
Rated Input Current	7 A	12.5A	7A	15A
Hybrid Mode	N	N	Automatic. AC supplement automatic while solar low power and AC disconnect automatic while	
AC Output For Pump(AC Induction Motor)				
Max Adapted AC Pump Horse Power	1 HP	2HP	2 HP	3 HP
Max Adapted AC Pump Power	750W	1500W	1500 W	2200 W
Phase	Single Phase(1 phase) / 3Phase (Compatible)			
Max Output voltage	220 / 240 V			
Max Output frequency	50 ~ 60 Hz			
Rated Output Current	7 A	13A	12A	16 A
Other Characters				
Max Efficiency	97%			
Water level Sensor(well / tank)	Yes			
4G/Wifi Monitor&Controller	Support (Optional)			
Display	LCD Display (128*64)			
Waterproof	IP65			
Noise	< 50dB			
Cooling Method	Natural Cooling	Force Cooling by Fan (IP68)		
Protection	Solar DC input Low/Over Voltage Solar DC Input Reverse Polarity AC Output Short-circuit AC Output Over Current Over Temperature Over Load Over Flow of Tank Against Lightning AC Output Phase Lose(3Phase) AC Output Unbalance(3Phase) Dry-Run (detecting by Sensor or Software)			
Operating Environment				
Operating environment temperature	-10 to 60°C, Above 60°C need to derate load			
Max Humidity	95%RH			
Using altitude	< 3000m, Above 3000m need to derate load			
Prohibiting the installation location: direct sunlight, thick dust, corrosive gas or oil mist, flammable gas, liquid.etc				
Package				
Size (L*W*H)	400*310*200mm	480*300*200mm	400*310*200mm	
Weight	6KG	8KG	6KG	6KG

Fuente: Catálogo inversor variador Hober HSPH750LB.

- Conexión de los dispositivos de protección.



3phase 380v pump



single phase 220v pump

Fuente: Manual de instalación del inversor variador Hober HSPH750LB.

Anexo 7. Estructuras y montaje mecánico.

- Ficha técnica de la estructura.














Especificaciones

Materiales: aluminio anodizado 6005 T5
Acero inoxidable 304

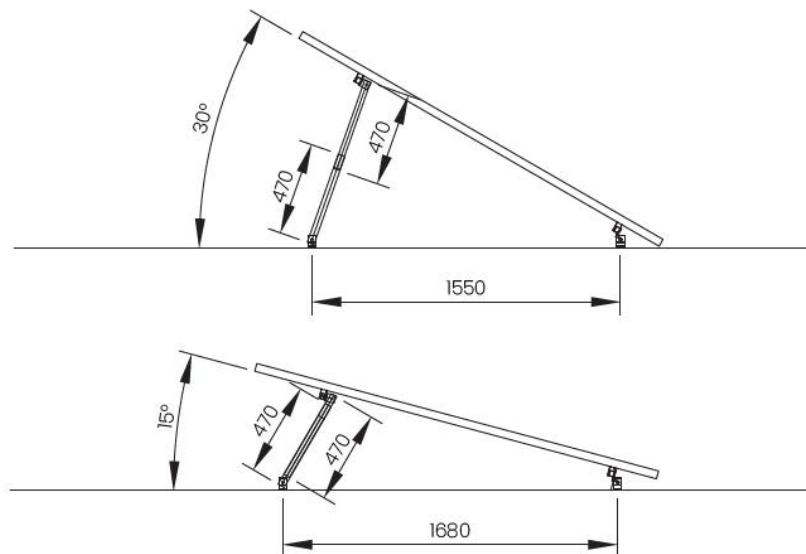
Velocidad del viento: hasta 45 m/s

Carga de nieve: hasta 50 cm

Accesorios

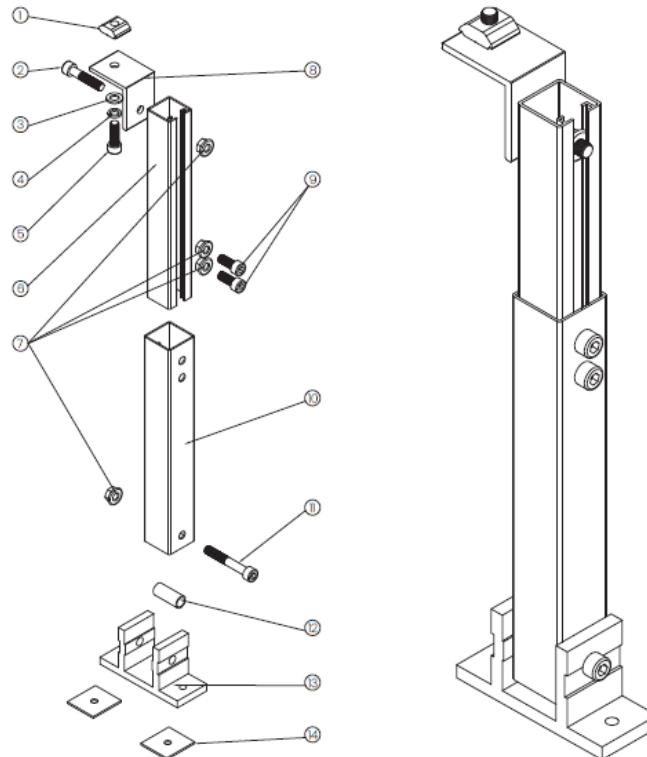
144 células Cantidad/ paneles	 Patas delanteras	 Patas traseras ajustables	 Rail	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final	
2 paneles	2	2	2	2	4	
3 paneles	3	3	2	4	4	
72 células Cantidad/ paneles	 Patas delanteras	 Patas traseras ajustables	 Rail	 Kit de empalme de riel	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final
2 paneles	2	2	4	2	2	4
3 paneles	3	3	6	4	4	4

Desglose y medidas

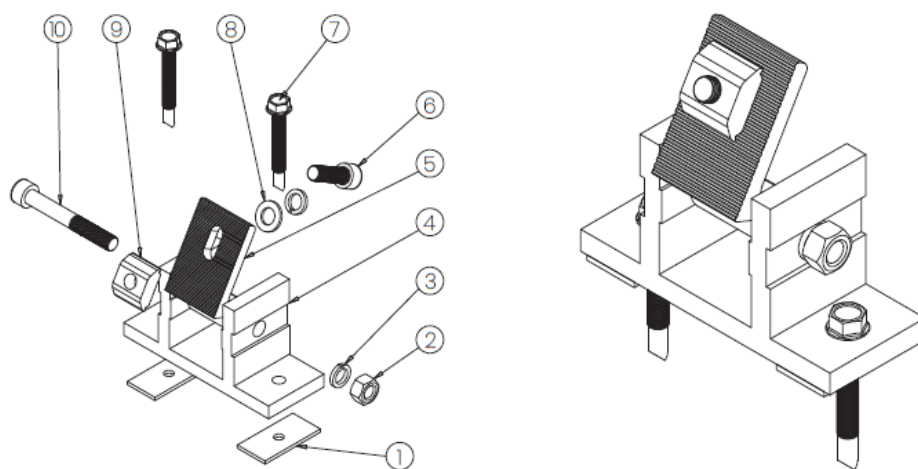


Desglose y medidas

Patatas traseras ajustables



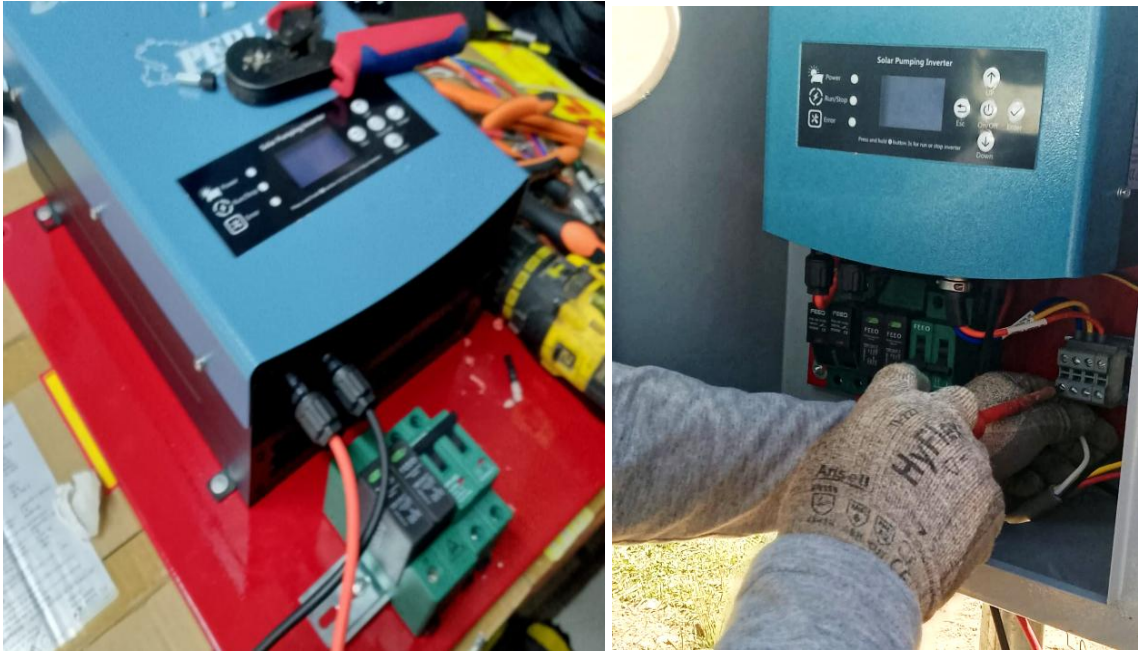
Patatas frontales



Fuente: Estructura de aluminio para 3 paneles (Autosolar).

Anexo 8. Conexiones e instalaciones

- Conexión de dispositivos de protección e inversor variador.



Fuente: elaboración propia.

- Instalación accesorios HDPE y aspersores.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Verificación y prueba de funcionamiento

- Medición de parámetros (Voltaje de circuito abierto del panel)



Fuente: Elaboración propia.

- Toma de datos en pleno funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia.

- Aspersores en pleno funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia.

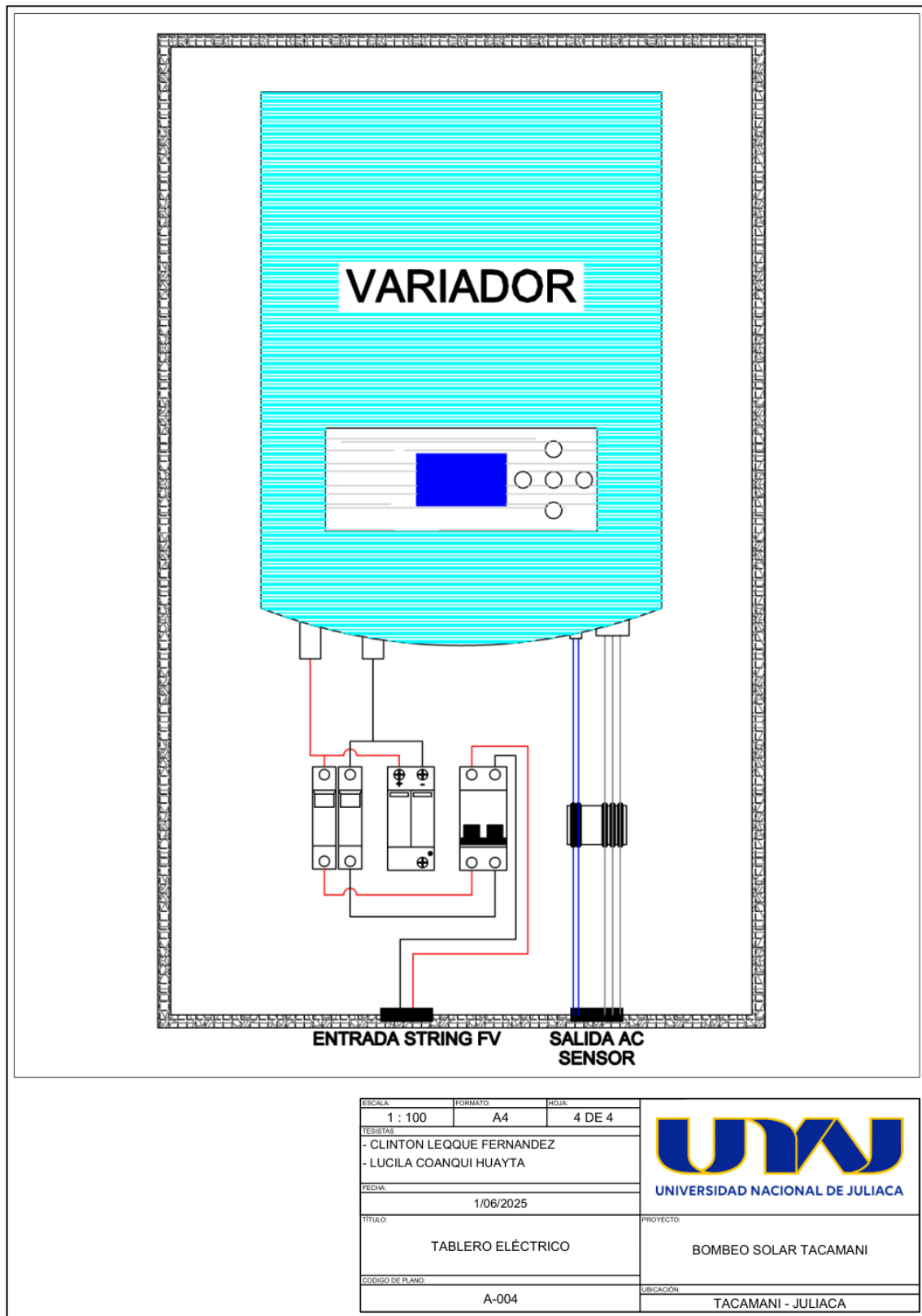
- Proyecto ejecutado.



Fuente: Elaboración propia (foto del grupo de trabajo).

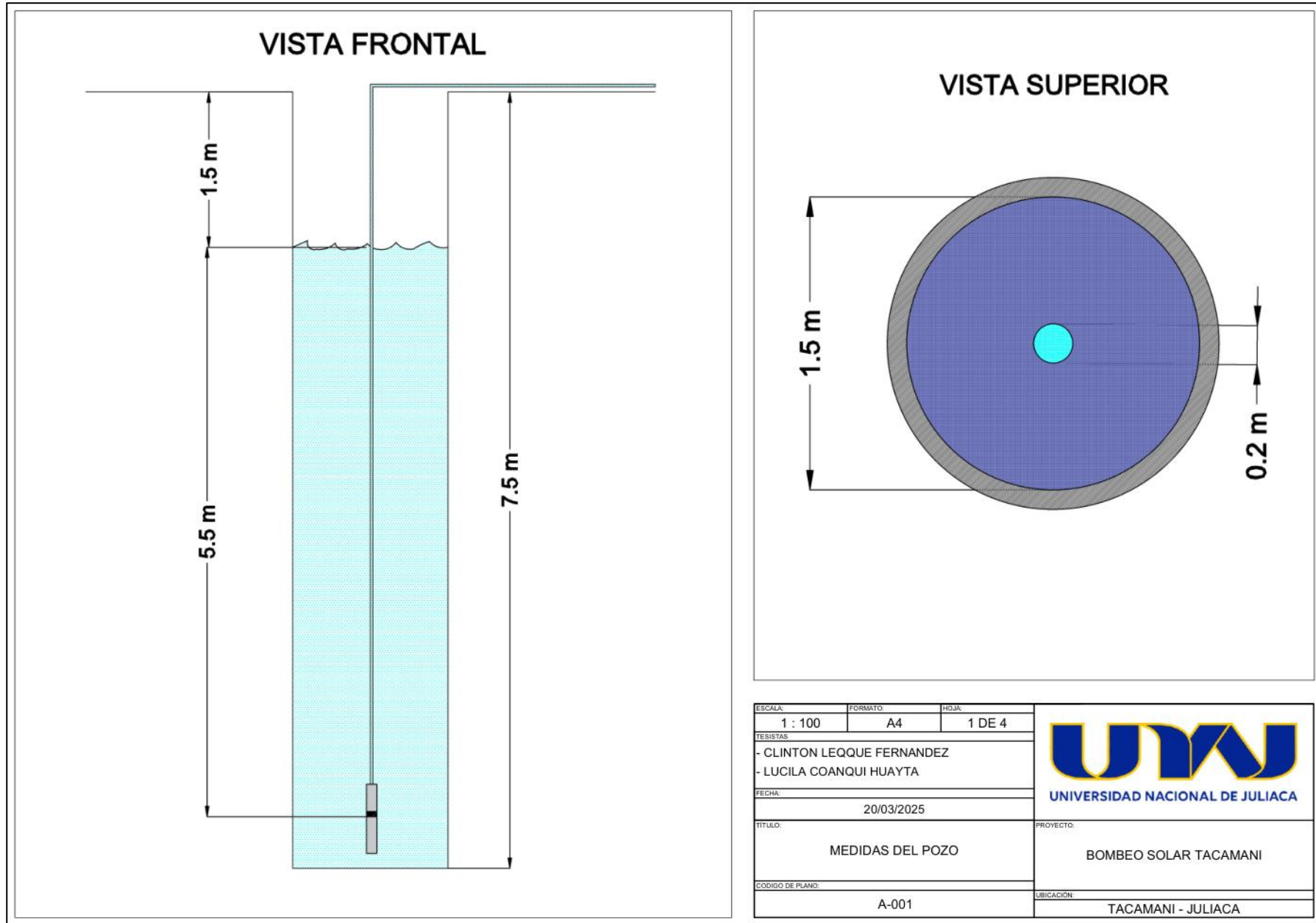
Anexo 10. Planos

- Plano del tablero eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

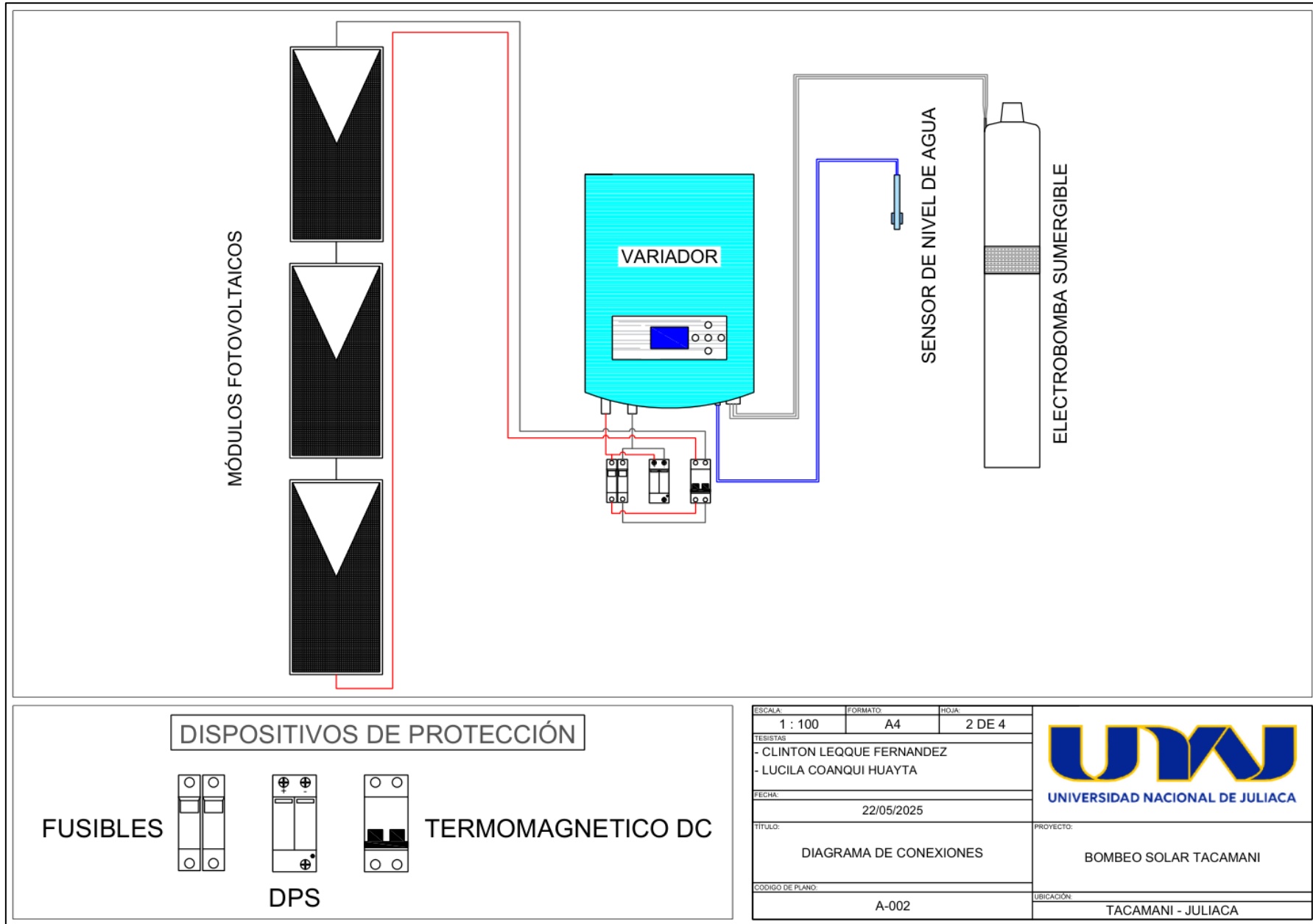
- Plano de las medidas del pozo.



ESCALA:	FORMATO:	HUJA:	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
1 : 100	A4	1 DE 4	
TEBISTAS - CLINTON LEQQUE FERNANDEZ - LUCILA COANQUI HUAYTA			PROYECTO: BOMBEO SOLAR TACAMANI
FECHA: 20/03/2025			
TITULO: MEDIDAS DEL POZO			LIBICACION: TACAMANI - JULIACA
CODIGO DE PLANO: A-001			

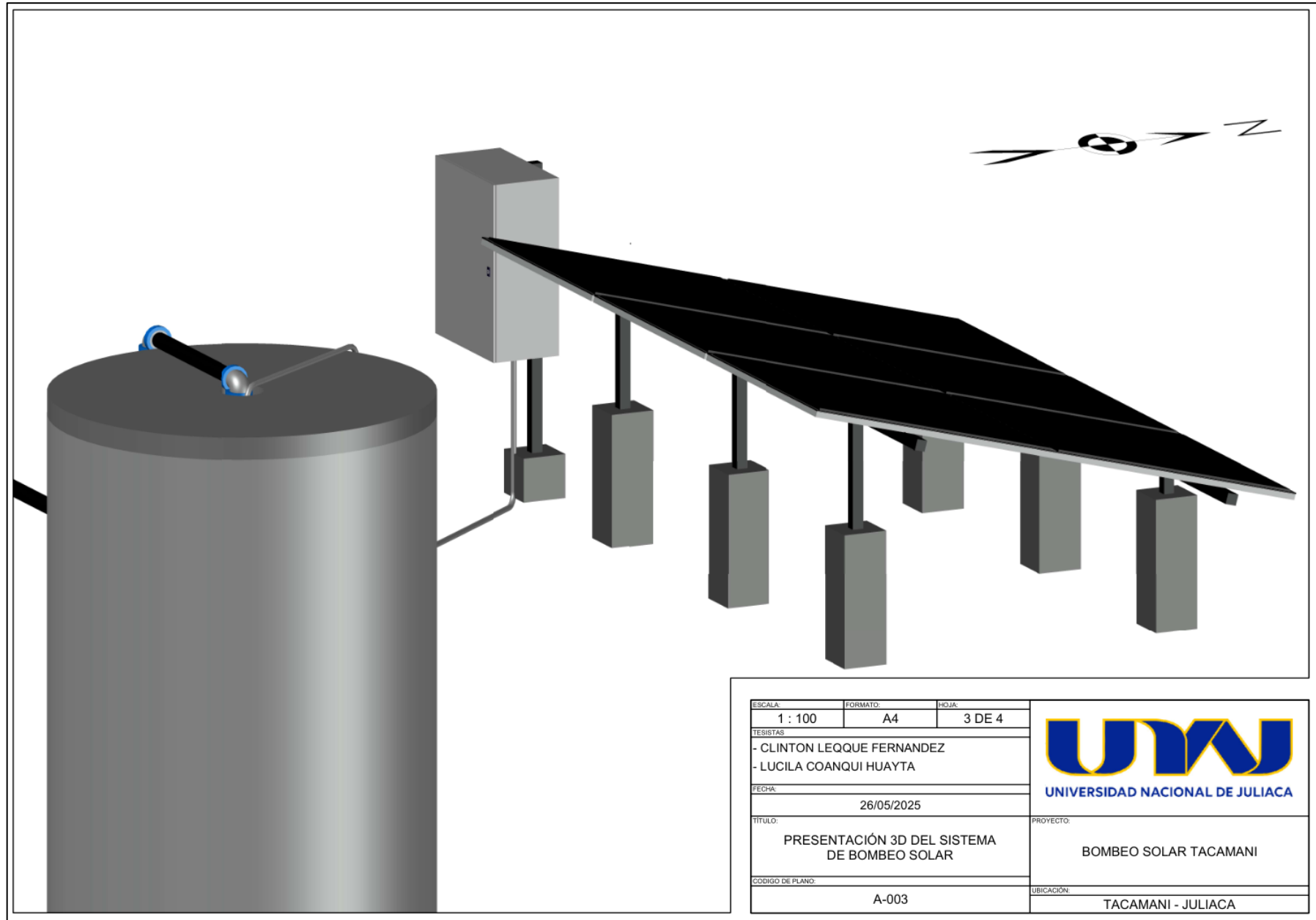
Fuente: Elaboración propia

- Plano del diagrama de conexionado.



Fuente: Elaboración propia.

- Presentación 3D del sistema de bombeos solar.



Fuente: Elaboración propia.

UW