



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



RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA
CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD
CIENEGUILLA, CABANA, 2024

JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesora: Dra. Vilma Sarmiento Mamani



JULIACA, PERÚ

2025





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA
CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD
CIENEGUILLA, CABANA, 2024**

Javier Alexander Quispe Mamani

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

Asesora: Dra. Vilma Sarmiento Mamani



JULIACA, PERÚ

2025



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



RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA
CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD
CIENEGUILLA, CABANA, 2024

Javier Alexander Quispe Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesor: Dra. Vilma Sarmiento Mamani

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Quispe, J. (2024). *Rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024: Un enfoque en energía solar*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Javier Alexander Quispe Mamani

Título: *Rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024.*

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: 182 pp.

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

Código: 02-000049-02/Q77

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: Dra. Vilma Sarmiento Mamani

Palabras clave: Cultivos hidropónicos, energía fotovoltaica, irradiación solar, rentabilidad. sistema de riego.

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

RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO
PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN
DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD
CIENEGUILLA, CABANA, 2024

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

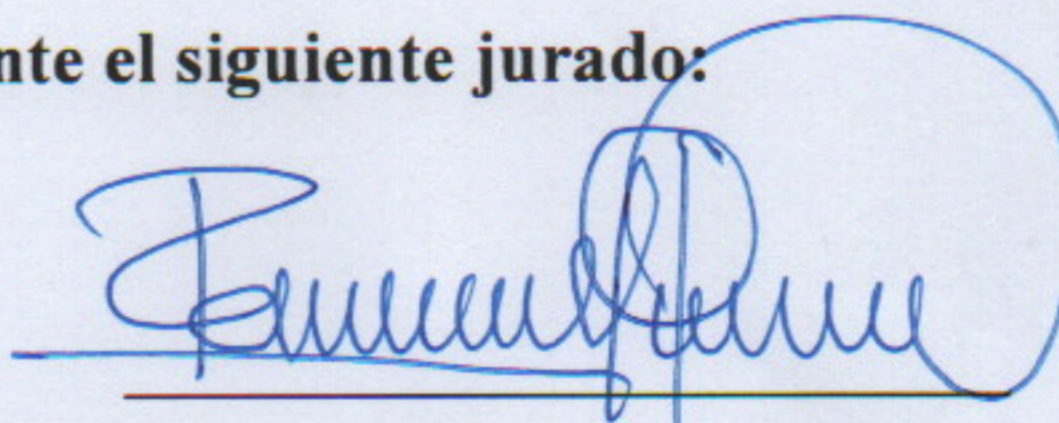
Presentado por:

Bach. Javier Alexander Quispe Mamani

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

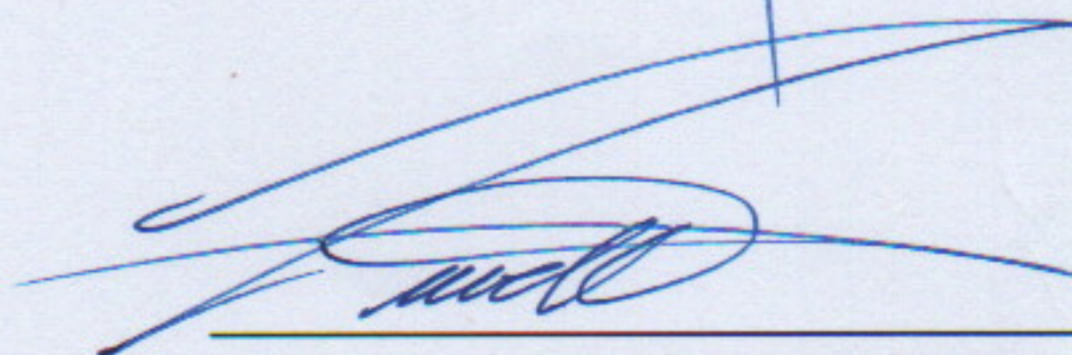
Mg. Reynaldo Condori Yucra

PRESIDENTE DE JURADO



Mtro. Josmell Tito Calderon

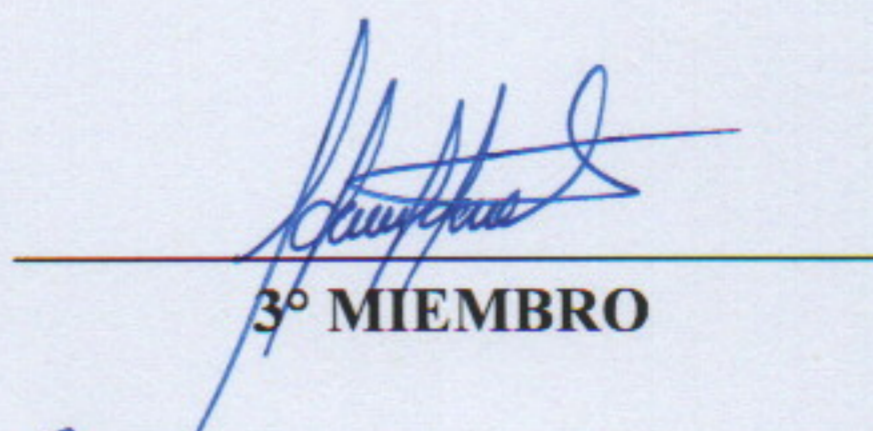
JURADO (Secretario)



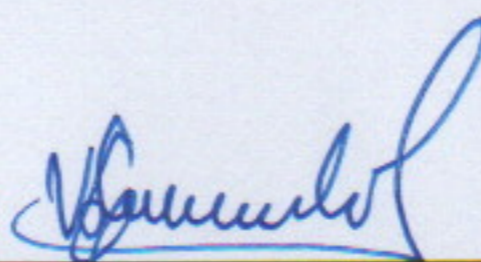
2° MIEMBRO

MSc. Huber Rony Hurtado Arhuata

JURADO (Vocal)




3° MIEMBRO



Dra. Vilma Sarmiento Mamani
ASESOR DE TESIS

Javier Alexander Quispe Mamani

RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE EN...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:543519839

182 páginas

Fecha de entrega

29 dic 2025, 5:22 p.m. GMT-5

30.221 palabras

Fecha de descarga

29 dic 2025, 5:30 p.m. GMT-5

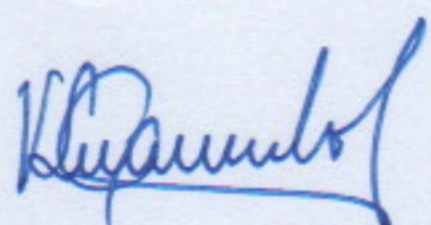
179.927 caracteres

Nombre del archivo

BORRADOR DE TESIS ENTREGA JA (1).pdf

Tamaño del archivo

8.8 MB


Dra. VILMA SARMIENTO




9% 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

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

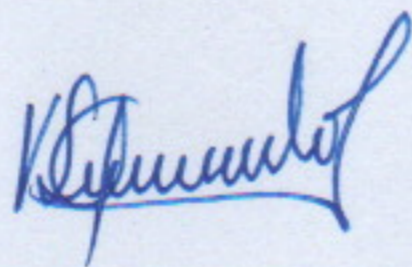
Marcas de integridad

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.



Dra. VILMA SARMIENTO

DEDICATORIA

A mi madre Rosnery, cuyo ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido inspiración constante en mi formación. A mi abuela Isabel, por su afecto incondicional y la sabiduría transmitida en cada consejo. Este trabajo constituye un humilde reconocimiento a la huella invaluable que ambas han dejado en mi vida.

A mi esposa, Erika, por su amor, comprensión y constante respaldo a lo largo de este trayecto. A mi hija, Zoe Mavie, por recordarme con su ternura la importancia de perseverar en mis metas. Esta tesis constituye un reconocimiento al valioso lugar que ambas ocupan en mi vida.

Javier Alexander Quispe Mamani

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a Dios, por concederme la fortaleza y la sabiduría necesarias para llevar a término este trabajo de investigación.

A mi familia, cuyo apoyo incondicional, comprensión y constante aliento han sido pilares fundamentales a lo largo de mi formación académica.

Expreso también mi sincera gratitud a mi asesor, Dra. Vilma Sarmiento Mamani, por su guía académica, sus observaciones oportunas y la dedicación brindada durante el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarme una formación técnica sólida y un entorno académico que impulsa la investigación y la aplicación práctica del conocimiento, su apoyo institucional y el acompañamiento de sus docentes fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

De igual manera, reconozco el aporte de todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con sus conocimientos, recursos y palabras de aliento, haciendo posible la culminación de este proyecto académico.

Javier Alexander Quispe Mamani

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|----------------------------|------|
| DEDICATORIA..... | i |
| AGRADECIMIENTO..... | ii |
| ÍNDICE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| INDICE DE ANEXO..... | xv |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | xvi |
| RESUMEN..... | 17 |
| ABSTRACT..... | 18 |
| INTRODUCCION..... | 19 |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

| | |
|--|----|
| 1.1 Situación problemática..... | 21 |
| 1.2 Formulación del problema..... | 23 |
| 1.2.1 Problema General..... | 23 |
| 1.2.2 Problemas específicos..... | 23 |
| 1.3 Objetivos de la investigación..... | 23 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 23 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 23 |
| 1.4 Justificación de la investigación..... | 23 |
| 1.4.1 Justificación técnica..... | 24 |
| 1.4.2 Justificación social..... | 24 |
| 1.4.3 Justificación económica..... | 24 |
| 1.4.4 Justificación ambiental..... | 24 |

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

| | |
|--|----|
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 26 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales | 26 |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales | 27 |
| 2.1.3 Antecedentes locales | 29 |
| 2.2 Bases teóricas energía solar fotovoltaica | 31 |
| 2.2.1 Energía solar | 31 |
| 2.2.2 Irradiancia | 32 |
| 2.2.3 Irradiación..... | 33 |
| 2.2.4 Sistemas fotovoltaicos | 33 |
| 2.2.5 Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos | 38 |
| 2.2.6 Bombeo con energía solar fotovoltaica..... | 43 |
| 2.2.7 Condiciones para la generación de energía con paneles solares..... | 44 |
| 2.2.8 Componentes de los sistemas fotovoltaicos | 48 |
| 2.2.9 Circuitos de los sistemas fotovoltaicos..... | 48 |
| 2.2.10 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo de agua..... | 50 |
| 2.2.11 Sistemas de riego | 51 |
| 2.3 Bases teóricas de hidroponía..... | 52 |
| 2.3.1 Sistemas de riego hidropónico..... | 52 |
| 2.3.2 Concepto y principios de funcionamiento | 53 |
| 2.3.3 Clasificación de sistemas de riego hidropónico..... | 53 |
| 2.3.4 Componentes de un sistema de riego hidropónico | 54 |
| 2.3.5 Parámetros operativos de riego hidropónico | 55 |
| 2.3.6 Ventajas del riego hidropónico frente al riego convencional..... | 56 |
| 2.3.7 Riego hidropónico y energía fotovoltaica..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 2.3.8 Relevancia del riego hidropónico para Cabana – Puno | 56 |
| 2.3.9 Ciclo de producción de hortalizas hidropónicas en Puno | 57 |
| 2.3.10 Normativa técnica aplicable a sistemas fotovoltaicos. | 57 |
| 2.4 Base teórica sobre rentabilidad y evaluación económica | 58 |
| 2.4.1 Rentabilidad y Evaluación Económica | 58 |
| 2.4.2 Indicadores usados en la evaluación económica..... | 59 |
| 2.4.3 Costos en sistemas hidropónicos | 61 |
| 2.4.4 Costos en sistemas fotovoltaicos | 61 |
| 2.4.5 Beneficios económicos del riego hidropónico con energía fotovoltaica | 62 |
| 2.4.6 Rentabilidad en contextos rurales altoandinos..... | 62 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 3.1 Ámbito de estudio | 64 |
| 3.2 Tipo y diseño de investigación..... | 65 |
| 3.2.1 Tipo de investigación | 65 |
| 3.2.2 Diseño de investigación | 65 |
| 3.3 Población y muestra..... | 66 |
| 3.3.1 Población | 66 |
| 3.3.2 Muestra | 66 |
| 3.4 Equipos y materiales | 66 |
| 3.4.1 Equipos para el análisis solar..... | 66 |
| 3.4.2 Materiales..... | 67 |
| 3.5 Procedimiento metodológico | 67 |
| 3.6 Determinación de la radiación solar existente en la comunidad Cieneguilla | 69 |
| 3.7 Diseño del sistema de riego hidropónico NFT alimentado por energía fotovoltaica | 73 |
| 3.7.1 Enfoque general del diseño del sistema | 73 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.7.2 | Diseño del sistema hidropónico Técnica de Película Nutriente (NFT) | 73 |
| 3.7.3 | Caudal requerido (Qdiseño) | 74 |
| 3.7.4 | Selección de bomba | 75 |
| 3.7.5 | Determinación de la energía hidráulica | 76 |
| 3.7.6 | Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico | 77 |
| 3.7.7 | Programación del riego hidropónico NFT | 78 |
| 3.7.8 | Cableado en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) | 79 |
| 3.7.9 | Estructuras de soporte del arreglo fotovoltaico | 81 |
| 3.7.10 | Sistema de puesta a tierra..... | 81 |
| 3.8 | Evaluar la rentabilidad económica del sistema..... | 83 |
| 3.8.1 | Determinación de la inversión inicial (CAPEX) | 84 |
| 3.8.2 | Determinación de los costos de operación y mantenimiento (OPEX)..... | 84 |
| 3.8.3 | Ahorro energético por uso de energía fotovoltaica | 84 |
| 3.8.4 | Determinación de los ingresos por producción de hortalizas | 85 |
| 3.8.5 | Valor neto actual VAN | 85 |
| 3.8.6 | Tasa interna de retorno TIR | 86 |
| 3.8.7 | Periodo de recuperación de la inversión PRI o PAYBACK | 86 |
| 3.8.8 | Tratamiento de la inversión del invernadero..... | 87 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Determinación de la radiación solar en la comunidad de Cieneguilla – Cabana..... | 88 |
| 4.1.1 | Presentación de resultados | 88 |
| 4.2 | Diseño del sistema hidropónicos NFT con la aplicación de energía fotovoltaica. ... | 92 |
| 4.2.1 | Configuración del sistema NFT y distribución hidráulica | 92 |
| 4.2.2 | Determinación del caudal de diseño del sistema | 95 |
| 4.2.3 | Pendiente del canal NFT y condición de flujo..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.4 Selección de la bomba en función de la Altura Dinámica Total (HDT) | 98 |
| 4.2.5 Determinación de la potencia hidráulica | 101 |
| 4.2.6 Selección del variador de frecuencia para el sistema de bombeo..... | 103 |
| 4.2.7 Selección del módulo fotovoltaico. | 105 |
| 4.2.8 Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico | 106 |
| 4.2.9 Configuración eléctrica del sistema de riego | 109 |
| 4.2.10 Programación y modo de operación del sistema de riego hidropónico | 110 |
| 4.2.11 Cableado de corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) | 111 |
| 4.2.12 Estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos | 112 |
| 4.2.13 Puesta a tierra del sistema fotovoltaico y de bombeo | 114 |
| 4.2.14 Cuadro resumen del sistema de bombeo solar..... | 115 |
| 4.3 Evaluación económica mediante VAN, TIR, Payback y análisis CAPEX/OPEX.. | 116 |
| 4.3.1 Análisis económico | 116 |
| 4.3.2 CAPEX – Inversión inicial del proyecto | 116 |
| 4.3.3 OPEX – Costos de operación y mantenimiento..... | 117 |
| 4.3.4 Producción e ingresos por venta de hortalizas..... | 119 |
| 4.3.5 Ahorro energético anual del sistema fotovoltaico..... | 120 |
| 4.3.6 Flujo de caja del proyecto | 122 |
| 4.3.7 Proyección del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto | 124 |
| 4.3.8 Evaluación económica bajo distintos escenarios de financiamiento | 126 |
| 4.4 Discusión general de resultados..... | 129 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---|------------|
| 5.1 Conclusiones..... | 130 |
| 5.2 Recomendaciones | 131 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 132 |

ANEXOS..... 138

ÍNDICE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 <i>Principales características de las bombas fotovoltaicas.</i> | 42 |
| Tabla 2 <i>Parámetros óptimos para hortalizas</i> | 55 |
| Tabla 3 <i>Ciclo hidropónico en NFT (siembra a cosecha)</i> | 57 |
| Tabla 4 <i>Proyección de variables económicas en proyectos agro energéticos.</i> | 63 |
| Tabla 5 <i>Ubicación del lugar del área de estudio</i> | 64 |
| Tabla 6 <i>Resumen de la metodología por cada objetivo planteado.</i> | 68 |
| Tabla 7 <i>Datos de entrada para el sistema de puesta a tierra</i> | 83 |
| Tabla 8 <i>Resultados de irradiación mensual de fuentes consultadas y calculo manual.</i> | 89 |
| Tabla 9 <i>Resultados de irradiación promedio anual</i> | 90 |
| Tabla 10 <i>Configuración general del sistema hidropónico NFT</i> | 94 |
| Tabla 11 <i>Caudal de diseño del sistema NFT</i> | 96 |
| Tabla 12 <i>Parámetros geométricos del canal NFT</i> | 97 |
| Tabla 13 <i>Resumen de componentes de la HDT y valor de diseño</i> | 99 |
| Tabla 14 <i>Tabla de selección hidráulica de la electrobomba Pedrollo modelo PKm 60.</i> . | 101 |
| Tabla 15 <i>Valores de potencia y demanda energética del sistema de bombeo</i> | 102 |
| Tabla 16 <i>Características técnicas del variador de frecuencia solar.</i> | 104 |
| Tabla 17 <i>Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico Jinko Solar JKM325PP-72</i> | 106 |
| Tabla 18 <i>Resumen del dimensionamiento del arreglo fotovoltaico (FS = 2.3)</i> | 107 |
| Tabla 19 <i>Modo de operación y programación del sistema de riego hidropónico.</i> | 110 |
| Tabla 20 <i>Características eléctricas TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K 1.5/1.5 (1.8) kV DC.</i> ... | 111 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 21 | <i>Características del conductor NH90 de 2.5 mm²</i> | 112 |
| Tabla 22 | <i>Cuadro resumen de los componentes del sistema de bombeo solar</i> | 115 |
| Tabla 23 | <i>Entradas de datos para la valoración de indicadores económicos</i> | 116 |
| Tabla 24 | <i>Inversión inicial total del proyecto (CAPEX)</i> | 117 |
| Tabla 25 | <i>Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX)</i> | 118 |
| Tabla 26 | <i>Producción anual e ingresos por venta de hortalizas</i> | 119 |
| Tabla 27 | <i>Ahorro energético anual valorizado</i> | 121 |
| Tabla 28 | <i>Flujo de caja anual del proyecto</i> | 123 |
| Tabla 29 | <i>Proyección del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto (20 años)</i> | 125 |
| Tabla 30 | <i>Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 01</i> | 126 |
| Tabla 31 | <i>Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 02</i> | 127 |
| Tabla 32 | <i>Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 03</i> | 128 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1 <i>Combinación de dos sistemas</i> | 32 |
| Figura 2 <i>Componentes del sistema fotovoltaico directo</i> | 34 |
| Figura 3 <i>Componentes de un sistema fotovoltaico con almacenamiento</i> | 35 |
| Figura 4 <i>Componentes del sistema fotovoltaico híbridos</i> | 36 |
| Figura 5 <i>Esquema de funcionamiento de un panel solar</i> | 37 |
| Figura 6 <i>Esquema de una bomba centrífuga superficial</i> | 39 |
| Figura 7 <i>Esquema de una bomba centrífuga sumergible</i> | 39 |
| Figura 8 <i>Esquema de una bomba volumétrica de cilindro</i> | 40 |
| Figura 9 <i>Radiación solar directa, difusa y albedo o reflejada</i> | 46 |
| Figura 10 <i>Celda, Panel y Arreglo fotovoltaico</i> | 49 |
| Figura 11 <i>Circuito en configuración serie y paralelo</i> | 50 |
| Figura 12 <i>Ámbito de estudio</i> | 65 |
| Figura 13 <i>Comparación de la irradiación promedio anual</i> | 90 |
| Figura 14 <i>Configuración del sistema de riego NFT e hidráulico</i> | 95 |
| Figura 15 <i>Curva característica de la electrobomba centrífuga Pedrollo PKm 60</i> | 100 |
| Figura 16 <i>Estructura para los módulos fotovoltaicos</i> | 113 |

INDICE DE ANEXO

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1 <i>Matriz de consistencia de la investigación</i> | 139 |
| Anexo 2 <i>Cuadro comparativo de irradiación solar obtenido mediante diferentes fuentes</i> ... | 140 |
| Anexo 3 <i>Resultados de irradiación solar anual obtenidos con SolarGIS</i> | 141 |
| Anexo 4 <i>Resultados de irradiación solar obtenidos mediante simulación en PVsyst</i> | 142 |
| Anexo 5 <i>Reporte técnico completo de NASTEC Solar Calculator</i> | 152 |
| Anexo 6 <i>Plano general del invernadero hidropónico NFT</i> | 159 |
| Anexo 7 <i>Arquitectura hidráulica del sistema de riego hidropónico NFT</i> | 160 |
| Anexo 8 <i>Ficha técnica de la electrobomba seleccionada PKm 60</i> | 161 |
| Anexo 9 <i>Ficha técnica del variador de frecuencia INVT</i> | 163 |
| Anexo 10 <i>Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos seleccionados JKM325PP</i> | 166 |
| Anexo 11 <i>Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico de bombeo híbrido</i> | 168 |
| Anexo 12 <i>Ficha técnica del conductor eléctrico en corriente continua (DC)</i> | 169 |
| Anexo 13 <i>Ficha técnica del conductor eléctrico en corriente alterna (AC)</i> | 172 |
| Anexo 14 <i>Plano de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos</i> | 177 |
| Anexo 15 <i>Ficha técnica de la estructura de soporte fotovoltaico</i> | 178 |
| Anexo 16 <i>Plano del sistema de puesta a tierra del proyecto</i> | 181 |
| Anexo 17 <i>Presupuesto general del sistema de riego hidropónico con energía fotovoltaica</i> . 182 | |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------------|---|
| AC | : Corriente Alterna |
| Capex | : Gastos de Capital |
| DC | : Corriente continua |
| Ha | : Hectárea |
| HDT | : Altura Hidrodinámica Total |
| HSP | : Horas Solar Pico |
| HP | : Caballos de fuerza |
| L | : Litros |
| Payback | : Periodo de recuperación de una inversión |
| Pb | : Potencia de la bomba |
| Pg | : Potencia del generador |
| Ph | : Medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia |
| Opex | : Gastos Operativos |
| Q | : Caudal |
| Qb | : Caudal de bombeo |
| RG | : Radiación solar global |
| SENAMHI | : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú |
| TIR | : Tasa Interna de Retorno |
| Tr | : Tiempo de riego |
| VAN | : Valor Actual Neto |
| Wh/m ² | : Whats hora por metro cuadrado |
| Wp | : Watts pico |

RESUMEN

La limitada disponibilidad de sistemas de riego tecnificado y elevados costos asociados al riego convencional en zonas rurales afectan la productividad agrícola en la comunidad de Cieneguilla, distrito de Cabana. Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar alternativas que optimicen el uso del agua y reduzcan el consumo energético mediante el aprovechamiento de fuentes renovables. El propósito de la investigación fue evaluar la rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos tipo NFT con la aplicación de energía fotovoltaica. Para ello, se plantearon como objetivos: determinar el recurso solar disponible en la zona de estudio, diseñar el sistema de riego hidropónico con energía fotovoltaica y evaluar su rentabilidad económica mediante indicadores financieros. La metodología empleada incluyó la determinación del recurso solar mediante herramientas especializadas como PVsyst, PVGIS y Nastec Solar Calculator; el diseño hidráulico y eléctrico del sistema NFT, así como la evaluación económica considerando un horizonte de 20 años y una tasa de descuento del 14.83 %. El sistema diseñado comprende 100 canales NFT de 3 m de longitud, con un caudal total de 20 L/min, una bomba Pedrollo PKM60 de 0.5 HP y un sistema fotovoltaico de 975 Wp configurado como sistema híbrido. Los resultados obtenidos muestran una irradiación solar promedio anual de 6.34 kWh/m²·día. La evaluación económica arrojó un Valor Actual Neto de S/ 6,090.61, una Tasa Interna de Retorno de 18.69 %, una relación Beneficio/Costo de 1.33 y un período de recuperación de la inversión de 4.75 años. Se concluye que el sistema propuesto es técnica y económicamente viable, recomendándose su implementación como alternativa sostenible para la producción de hortalizas, así como la priorización del uso de energía fotovoltaica y el mantenimiento preventivo del sistema para garantizar su desempeño óptimo.

Palabras clave: Cultivos hidropónicos, energía fotovoltaica, irradiación solar, rentabilidad. sistema de riego.

ABSTRACT

The limited availability of advanced irrigation systems and the high costs associated with conventional irrigation in rural areas affect agricultural productivity in the community of Cieneguilla, Cabana district. This situation highlights the need to implement alternatives that optimize water use and reduce energy consumption through the integration of renewable energy sources. The purpose of this research was to evaluate the profitability of the design of a hydroponic irrigation system using the Nutrient Film Technique (NFT) powered by photovoltaic energy. The specific objectives were to determine the available solar resource in the study area, to design a hydroponic irrigation system supplied by photovoltaic energy, and to assess its economic feasibility using financial indicators. The methodology included the assessment of the solar resource using specialized tools such as PVsyst, PVGIS, and the Nasted Solar Calculator; the hydraulic and electrical design of the NFT system; and an economic evaluation considering a 20-year analysis period and a discount rate of 14.83%. The proposed system consists of 100 NFT channels with a length of 3 m each, a total flow rate of 20 L/min, a 0.5 HP Pedrollo PKM60 centrifugal pump operated by a variable frequency drive, and a 975 Wp photovoltaic system configured as a hybrid system with grid backup. The results indicate an average annual solar irradiation of 6.34 kWh/m²·day. The economic evaluation yielded a Net Present Value (NPV) of S/ 6,090.61, an Internal Rate of Return (IRR) of 18.69%, a Benefit–Cost ratio of 1.33, and a payback period of 4.75 years. It is concluded that the proposed system is technically and economically viable. Its implementation is recommended as a sustainable alternative for horticultural production, emphasizing the use of photovoltaic energy and preventive maintenance to ensure optimal system performance.

Key words: Hydroponic crops, photovoltaic energy, solar irradiation, profitability, irrigation system.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años debido al agotamiento de los suministros de energía convencionales, la población mundial lleva un tiempo experimentando problemas relacionados con la energía, así como una escasez de recursos hídricos (Flores, 2018); la gran mayoría de los bienes tradicionales, incluido el petróleo y sus derivados, se utilizan como procesos energéticos para impulsar enormes masas de agua y succionarlas mediante bombeo por motivos de consumo y/o riego (Cerdan, 2021).

En consecuencia, algunas naciones en desarrollo optan por utilizar fuentes de energía sustitutas, siendo esta la energía solar, para bombear agua en lugar de invertir en proyectos que usan combustibles fósiles. Esto se debe a que estos países carecen de la energía necesaria para satisfacer la demanda de electricidad (Flores, 2018). Los sistemas de bombeo de agua que emplean gasóleo o propano para su funcionamiento son costosos debido al valor económico del combustible, y su infraestructura también contribuye a la contaminación acústica y a la degradación del medio ambiente. En este contexto, cabe señalar que el bombeo de agua puede realizarse con energía generada por tecnologías que emplean energías renovables como fuente principal, como la energía solar fotovoltaica empleando paneles solares, lo que reduce la dependencia de los combustibles convencionales como es el carbón, el gas y el gasóleo (Valenzuela, 2020).

Los datos sugieren que el coste de funcionamiento, mantenimiento y sustitución de una bomba diésel es de dos a cuatro veces mayor que el de una bomba alimentada por energía fotovoltaica (FV). Esto nos lleva a concluir que la generación de energía eléctrica a base de los módulos fotovoltaicos son más rentables y respetuosos con el ambiente que las bombas diésel porque requieren un mantenimiento menos frecuente y no tienen costes de combustible (Mamani & Cuba, 2019).

Del mismo modo, es fundamental tener en cuenta que la falta de eficiencia energética en la mayor parte de zonas rurales y remotas del mundo presenta una oportunidad para integrar paneles fotovoltaicos y utilizar la energía fotovoltaica, específicamente para los sistemas de bombeo; también, la tecnología es la misma que los sistemas convencionales de bombeo, con la excepción de que la fuente de generación es solar (Valenzuela, 2020).

La idea central de este trabajo es evaluar la viabilidad económica de reemplazar o complementar un sistema de riego para cultivos hidropónicos que no se producen en la zona con energía solar fotovoltaica, frente a un sistema convencional que depende de combustibles fósiles. El enfoque combina dimensionamiento técnico (radiación solar, demanda hídrica, caudales, alturas manométricas, selección de paneles, inversor, electrobomba) con un análisis económico que utiliza indicadores de rentabilidad como VAN, TIR, Payback, Capex y Opex. El resultado esperado es demostrar si la inversión en energía solar para riego hidropónico resulta rentable para comunidades rurales, y bajo qué condiciones (niveles de radiación, costos de instalación, costos de operación, y desempeño hidráulico) se vuelve atractiva.

Por ello es que surge el desarrollo del presente estudio titulada “Rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024”.

De forma similar, el presente proyecto de investigación se divide en los cuatro capítulos siguientes:

CAPÍTULO I: En este apartado se menciona la introducción, junto con la hipótesis, fundamentación y objetivos alcanzados que contempla el estudio.

CAPÍTULO II: En este apartado se exhiben los argumentos sobre el tema del estudio, las fuentes, los fundamentos teóricos que han servido de base a este trabajo.

CAPÍTULO III: En este apartado trata en profundidad la metodología, incluyendo la población y la muestra, los métodos, el procesamiento de datos, los equipos y procesos, y el tipo y diseño del estudio.

CAPÍTULO IV: En este apartado se presentan los resultados y discusión. Por último, se discuten las recomendaciones y las conclusiones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Hoy en día en el mundo, la problemática se ubica en el marco global de la seguridad alimentaria, donde la transición hacia soluciones energéticas limpias y eficientes para la hidroponía adquiere un papel central (Carmona et al., 2016). Donde la demanda de métodos de cultivo sin suelo se ha ampliado, frente a la necesidad de reducir el consumo de agua y minimizar la huella ambiental, especialmente en regiones con escasez de recursos hídricos y volatilidad climática (Davila, 2022). Abarcando este hecho los sistemas de riego van paralelamente con la energía eléctrica convencional, el uso de diésel y gasolina, el cual genera elevados costes y mínimos niveles de rentabilidad al transcurrir del tiempo (Munive & Pereira, 2022). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022). Hace frente a una gran crisis hídrica, provocado principalmente por el cambio climático, lo que ocasiona la escases de lluvias y por ende disminuye la producción de cultivos. En este contexto, la hidroponía surge como una alternativa capaz de incrementar la productividad en superficies reducidas facilitando el manejo de nutrientes y condiciones de cultivo, aprovechando la energía fotovoltaica como posible reemplazo a los combustibles fósiles y a la intensa necesidad de energía en la agricultura (Bermeo & Silva, 2022).

A nivel nacional, en el Perú, la dispersión geográfica y la variabilidad climática obligan a contemplar estrategias de riego y producción agrícola que reduzcan costos y aumenten la seguridad alimentaria (Díaz, 2018). Las regiones alto andinas presentan limitaciones en la disponibilidad de agua y en el acceso a alimentos por temas de lejanía con el pueblo, lo que favorece la exploración de energías renovables como fuente de apoyo para la hidroponía especialmente en cultivos de hortalizas y productos de alto valor añadido (Carmona et al, 2016). Sin embargo aún prevalece los métodos más comunes de bombeo hídrico para el riego instaladas en pozos tubulares o a cielo abierto y los motores de combustión interna, donde la mayoría de ellos están sobredimensionados (Davalos, 2019). Estos métodos dependen principalmente de combustibles fósiles (petróleo y gasolina) para obtener energía, lo que aumenta el coste de funcionalidad y mantenimiento de los componentes de bombeo, contribuyendo a la contaminación del aire local, ya que estos combustibles emiten

gases tóxicos (SO₂, NO_x, CO₂, Pb) (Cerna, 2021). Además, en respuesta al cambio climático y a la creciente dificultad para producir alimentos en determinadas regiones, se han desarrollado nuevas tecnologías de generación eléctrica. Estas innovaciones buscan ofrecer energía más limpia, eficiente y accesible, permitiendo impulsar sistemas agrícolas avanzados como la hidroponía, la agricultura vertical y los invernaderos de ambiente que dependen de un suministro eléctrico estable para funcionar adecuadamente. Entre estas tecnologías se encuentra la energía solar fotovoltaica, que es una fuente inagotable para generar energía eléctrica para sistemas de bombeo de agua y que ya está bien establecida y se utiliza ampliamente en muchos países del mundo (Cerna, 2021). Por ello la planificación de proyectos hidropónicos debe incorporar dimensiones técnicas (dimensionamiento de sistemas de bombeo adecuado) y dimensiones económicas (análisis de costos, retornos de inversión y sostenibilidad a largo plazo) para garantizar viabilidad.

En la región de Puno, la situación se complica por la altitud, la variabilidad climática y la limitada infraestructura de servicios, donde la hidroponía en esta región ofrece oportunidades para optimizar el uso del agua, reducir la dependencia de suelos degradados y promover la producción durante todo el año, aprovechando la elevada radiación solar disponible. Además, en específico en la comunidad campesina de Cieneguilla, del distrito de Cabana, la población tiene un problema persistente con la energía y el agua porque se necesita una red eléctrica para transportar el agua a sus zonas de regadío, principalmente para los cultivos de hortalizas. Esto no es sostenible con la economía de la población debido a los gastos de bombeo de agua a un embalse para su distribución, además, la frecuente falta de lluvias relacionada con el cambio climático causa problemas de humidificación del suelo y reduce el rendimiento de los cultivos (Arizaca, 2022).

Además, se hace uso excesivo del agua para actividades de riego, así también existe la pérdida de la cobertura vegetal natural para convertirlos en tierras cultivables, lo que está destruyendo la biota. Ante ello es necesario optar por nuevas técnicas de cultivo en la que el agua no se pierda ni se desperdicie en el subsuelo (Cepeda & Jiménez, 2021). El cultivo hidropónico una vez más responde a la problemática planteada pues éste no requiere de extensiones de tierra ni elevadas cantidades de agua y puede crecer verticalmente, de ésta manera se puede tener la misma o más cantidad de producción en la misma o menor espacio de tierra, todo con elementos sustentables siendo este la energía fotovoltaica mediante la

radiación solar, para el incremento de la eficiencia y disminuir el consumo de los recursos en sistemas de bombeo con energía fotovoltaico para riego de cultivos hidropónicos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Será rentable el diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuánto será la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla?
- ¿Cómo será el diseño del sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica?
- ¿Será rentable económicamente el sistema en base a los indicadores del VAN, TIR, Payback y Capex Opex?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar la rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla.
- Diseñar el sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica
- Evaluar la rentabilidad económica del sistema en base a los indicadores del VAN, TIR, Payback, Capex y Opex.

1.4 Justificación de la investigación

La investigación se justifica porque, en la región de Puno y específicamente en la comunidad campesina de Cieneguilla, en el distrito de Cabana se enfrenta actualmente a períodos de sequía que reducen significativamente la disponibilidad de recursos hídricos debido al cambio climático. Además, se requiere una alternativa que permita producir

alimentos que no se cultivan naturalmente en la zona, lo cual demanda condiciones controladas. En este contexto, se plantea diseñar sistemas energéticos renovables basados en energía solar para abastecer de electricidad al funcionamiento de la bomba del sistema hidropónico, y, al mismo tiempo, implementar técnicas de producción modernas que optimicen el espacio, mejoren la calidad de los alimentos y contribuyan a la economía local con un impacto ambiental mínimo.

1.4.1 Justificación técnica

Nuestro país experimenta niveles significativos de radiación solar incluso durante el invierno, este proyecto tiene como finalidad establecer sistemas de energía renovable (solar). La energía generada se utilizará para operar y gestionar los sistemas de riego y bombeo. Para impulsar la economía y minimizar su incidencia sobre el medio ambiente, este estudio intenta mantenerse al día con la nueva matriz productiva con el fin de crear una alternativa en la producción de hortalizas hidropónicas de mejor calidad en un área de producción más pequeña utilizando sistemas de energía renovable (Tarquino, 2018).

1.4.2 Justificación social

Se justifica en el hecho de que la ejecución de la propuesta de diseño mejorará las circunstancias de vida, las perspectivas de empleo y el desarrollo comunitario de los residentes de la región de estudio, así como de otros lugares cercanos. En consecuencia, supone elevar la calidad de vivir de todos los habitantes del ámbito en estudio que se dedican a la agricultura (Tarquino, 2018).

1.4.3 Justificación económica

La implementación del sistema de energía solar fotovoltaica tiene ahora un coste inicial más elevado que otros tipos de sistemas. Lo interesante es que, al no haber gastos recurrentes, el gasto inicial se recobra a mitad de la vida útil de la instalación. Sin embargo, para el agricultor supondrá un aumento del rendimiento agrícola, lo que incrementará sus ingresos por venta de productos (Valero, 2018).

1.4.4 Justificación ambiental

Un sistema con energía fotovoltaica de bombeo de cultivos utiliza la radiación solar para generar energía limpia y amigable con el medio ambiente, puede disminuir la cantidad de

contaminantes liberados a la atmósfera cuando se utilizan motobombas en los sistemas de riego (Munive & Pereira, 2022).

Además, la hidroponía presenta una serie de beneficios frente a la agricultura tradicional. Por ejemplo, en comparación con la siembra agrícola, la cantidad de agua utilizada es significativamente menor porque los cultivos hidropónicos con suficiente oxigenación del agua permiten la recirculación del agua, lo que puede ahorrar hasta un 95% de los recursos hídricos, ya que las hortalizas hidropónicas se desarrollan más rápidamente y producen mejores alimentos, este método resulta especialmente ventajoso. Además, como permite cosechar directamente los cultivos en el lugar donde se van a consumir, puede practicarlo una población mucho más amplia (Franco, 2022).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Los antecedentes internacionales demuestran que los sistemas de riego impulsados por energía fotovoltaica son técnica y económicamente viables en diversos contextos agrícolas. La literatura señala que la energía solar permite reducir costos operativos, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la disponibilidad hídrica en zonas rurales, lo que resulta especialmente relevante en regiones con alta irradiancia y recursos hídricos limitados. Asimismo, se evidencia que los sistemas fotovoltaicos pueden dimensionarse para cubrir distintos caudales de riego y que su integración con técnicas modernas de cultivo, como la hidroponía, contribuye a fortalecer la resiliencia de la producción alimentaria frente al cambio climático. No obstante, se reconocen limitaciones en la extrapolación de estos estudios debido a diferencias en infraestructura, costos y marcos regulatorios, ya que muchos de ellos provienen de pilotos o modelos a pequeña escala, lo que plantea retos para su aplicación directa en regiones como la sierra peruana.

Cordero (2021) desarrollo el estudio con el objetivo de implementar la técnica de riego solar para producir lechuga en agricultura urbana en Ambato - Ecuador. La metodología consistió en instalar un sistema de riego automatizado alimentado por paneles solares de 300 Wp y un reservorio de 200 L, aplicado a un área de 50 m² con dos tratamientos: riego solar y riego convencional. Se registraron variables de consumo hídrico, crecimiento vegetativo y rendimiento final durante un ciclo de 45 días. Los resultados mostraron que el sistema de riego solar redujo el consumo de agua en un 40 %, mantuvo una eficiencia de aplicación del 85 % y aumentó el rendimiento promedio de la lechuga en un 18 % respecto al método tradicional. El autor concluyo que, la técnica de riego solar demostró ser eficiente, sostenible y adaptable a espacios urbanos, permitiendo una producción agrícola con menor gasto de recursos y contribuyendo al uso responsable de la energía y el agua en la agricultura moderna.

López (2021) realizó el estudio con la finalidad de diseñar e implementar un sistema de riego para cultivos hidropónicos de fresa en el sector de la parroquia de Quiroga Cantón Cotacach, Ecuador, La metodología incluyó el diseño e instalación de sensores de humedad, temperatura, pH y conductividad eléctrica, controlados mediante un microcontrolador Arduino Mega 2560, que procesó los datos según un modelo difuso con tres variables de entrada y una de salida para regular el caudal de solución nutritiva. Los resultados mostraron que el sistema optimizó el uso del agua en un 35 %, mejoró la eficiencia en la distribución de nutrientes en un 28 % y redujo el consumo energético en un 15 %, en comparación con un sistema manual. Además, se mantuvieron valores estables de pH (6.0 ± 0.2) y conductividad eléctrica (1.8–2.2 mS/cm), favoreciendo un crecimiento uniforme de las plantas. En conclusión, los autores implementaron el sistema de riego automático difuso mejoró la productividad, redujo el desperdicio de recursos y garantizó condiciones óptimas para el desarrollo de la frutilla, demostrando su viabilidad técnica y eficiencia en entornos controlados de producción agrícola.

Munive & Pereira (2022) efectuaron el estudio con el objetivo de diseñar un sistema de bombeo de agua aplicando paneles fotovoltaicos para el cultivo de ñame en el Carmen de Bolívar-Colombia. La metodología incluyó el cálculo de la demanda de agua (5500 m³/año), la determinación del caudal requerido (2.2 L/s) y una altura manométrica de 22 m, así como el dimensionamiento del sistema fotovoltaico mediante 12 paneles de 330 Wp y una bomba de 1.5 HP. Los resultados evidenciaron que el sistema opera eficientemente durante 6 horas diarias, cubriendo el 100 % de la demanda del cultivo, con una inversión total de USD 5800 y un retorno estimado de 3.8 años, además de evitar la emisión de 1.2 t de CO₂ anuales. Los autores concluyeron que, el sistema de bombeo solar diseñado es técnicamente viable, económicamente rentable y ambientalmente sostenible, representando una solución efectiva para el riego agrícola en zonas rurales sin acceso a la red eléctrica.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional, los estudios sobre sistemas fotovoltaicos aplicados al bombeo de agua en cultivos evidencian los desafíos técnicos y económicos asociados a su implementación, especialmente en zonas con limitada infraestructura eléctrica y escasez de ciertos alimentos (hortalizas). Estos trabajos documentan experiencias de

dimensionamiento de bombas, selección de componentes y análisis de rentabilidad como VAN y TIR, lo que permite adaptar dichas metodologías a condiciones locales. Asimismo, destacan que la viabilidad económica depende de factores como la radiación solar disponible, los costos de instalación, el precio de la energía convencional y las particularidades climáticas de cada región. La literatura también resalta que la hidroponía y los cultivos sin suelo favorecen un uso más eficiente del agua, lo que hace pertinente su integración con sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, persisten limitaciones como la escasa evaluación de costos de mantenimiento a largo plazo, la variabilidad geográfica del país y la falta de estudios sobre mecanismos de financiamiento. Además, muchos trabajos se centran en cultivos específicos, lo que dificulta extrapolar los resultados a otros sistemas hidropónicos con diferentes exigencias agronómicas.

Jambo (2021) desarrollo el estudio con el objetivo de dimensionar un sistema de bombeo solar para abastecer agua a cultivos en Chiclayo, Se estimó una superficie de 1.2 ha, demanda anual $\approx 5\,000\text{ m}^3$, caudal 2.0 L/s y altura manométrica $\approx 40\text{ m}$, y se dimensionó una bomba sumergible de 2 HP con 10 paneles de 330 Wp ($\approx 3.3\text{ kWp}$). El sistema cubre el 100 % de la demanda operando 5–6 h/día, con inversión estimada USD 6200 y retorno ≈ 4 años, reduciendo 1,4 t CO₂/año respecto a diésel. El autor concluyo que, la solución es técnicamente viable, rentable y ambientalmente favorable para el suministro hídrico en la zona.

Jara (2021) efectuó el estudio con el objetivo de elaborar el diseño de un sistema de bombeo solar directo para satisfacer el requerimiento de riego por goteo de sembríos de palto en 7 ha. en el distrito de Guadalupito - La Libertad. Se calculó una demanda hídrica de 4200 m³/año, con un caudal de 1.8 L/s y una altura manométrica de 18 m. El sistema se dimensionó con 8 paneles solares de 330 Wp y una bomba de 1.2 HP. Los resultados mostraron una eficiencia de riego del 90 %, cobertura total de la demanda hídrica y una inversión de USD 4500, recuperable en 3.5 años. El autor concluyo que, el sistema es viable, rentable y sostenible, favoreciendo la productividad agrícola y el ahorro energético en zonas rurales.

Davila (2022) realizo el estudio con la finalidad de dimensionar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo - Amazonas. El sistema de bombeo solar se elige y desarrolla en función de la cantidad hídrica necesaria para cultivar

una hectárea de maíz, así como de las alturas de aspiración y descarga del sistema. Este estudio brinda una visión general de los sistemas solares fotovoltaicos, desde el diseño hasta el análisis del recurso solar, el agua y el consumo energético. Se eligen las dimensiones del inversor, la bomba eléctrica de superficie, el panel solar y el conductor. También se calculó el coste nivelado de la energía (LCOE) para los precios de la electricidad, que resultó ser de 0.527 S/. kWh a una razón de descuento al 10%. Cuando se realizó el análisis monetario del sistema de bombeo fotovoltaico a 25 años utilizando un tipo de interés del valor actual neto del 10%, se comprobó que no era rentable. Del mismo modo, tenía un valor actual neto (VAN) positivo de S/. 5043.61 y era rentable cuando se evaluó utilizando un tipo de interés del 9%.

Así mismo según el CREUS, indica que el análisis económico del sistema de bombeo solar fotovoltaico en el CPM Boro, Pomalca – Chiclayo demostró su viabilidad financiera frente a los sistemas tradicionales a diésel. El costo total de inversión se estimó en USD 6200, incluyendo paneles, bomba, controlador y accesorios hidráulicos. El costo anual de operación y mantenimiento fue de aproximadamente USD 120, mientras que el sistema convencional generaba un gasto promedio anual de USD 1700 en combustible y mantenimiento. El ahorro anual neto asciende a USD 1580, lo que permite un periodo de recuperación (Payback) de aproximadamente 3.9 años. El coeficiente de rentabilidad (CREUS) obtenido fue de 1.45, indicando que por cada dólar invertido se obtiene un beneficio de USD 1.45 durante la vida útil del sistema (estimada en 20 años). Asimismo, el índice beneficio/costo (B/C) alcanzó un valor de 2.1, confirmando que los beneficios económicos duplican los costos de inversión. CREUS concluyó que, el análisis financiero muestra que el sistema de bombeo solar es económicamente rentable, con rápida recuperación de la inversión, bajo costo operativo y beneficios sostenibles a largo plazo, contribuyendo además a la reducción de emisiones y al aprovechamiento eficiente de la energía renovable.

2.1.3 Antecedentes locales

Los antecedentes regionales de la zona andina de Puno proporcionan información clave sobre el clima, la irradiación solar y la disponibilidad hídrica en un entorno caracterizado por la altitud y la marcada variabilidad estacional. Estos elementos resultan esenciales para adaptar adecuadamente los sistemas de bombeo solar y los cultivos hidropónicos a

las condiciones geográficas y culturales locales. La literatura regional evidencia que, pese a las limitaciones logísticas e infraestructurales, los sistemas fotovoltaicos pueden ofrecer soluciones de riego eficientes y sostenibles siempre que se ajusten a la radiación disponible, las pérdidas de carga y las necesidades hídricas de los cultivos, la presencia de microclimas y restricciones presupuestarias dificultan la escalabilidad del sistema. Asimismo, se destaca la necesidad de implementar programas de monitoreo y mantenimiento que aseguren el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos en ambientes andinos, donde factores como el polvo, la humedad y la temperatura pueden afectar su durabilidad.

Valero (2018) diseñó un sistema de riego fotovoltaico, empleando aspersores para estimar la cantidad de radiación solar y poder calcular la cantidad de paneles solares requeridos para operar una bomba sumergible para de este modo regar una parcela en Caminaca. La metodología consistió en analizar los niveles anuales de radiación solar, identificar el mes con mayor déficit, seleccionar una bomba adecuada para la elevación del agua y diseñar los componentes del sistema, incluyendo el colector, el depósito y los accesorios de riego. Los resultados indicaron que la zona cuenta con suficiente radiación solar constante, requiriéndose solo cuatro paneles solares para alimentar una bomba de 500 W que eleva agua a 40 metros y la almacena en un tanque de 3360 litros, desde donde se distribuye mediante aspersores. Vilca llegó a la conclusión general donde establece que el sistema de riego solar diseñado es técnica y económicamente viable, aprovechando una fuente de energía renovable y sostenible, respaldado por indicadores financieros como el VAN y la TIR que confirman su rentabilidad.

Vilca (2021) efectuó un estudio para bombear agua empleando energía fotovoltaica, aplicada al riego en el sector ganadero de Rosaspata. La metodología incluyó el análisis agronómico para determinar los requerimientos hídricos, el diseño hidráulico del sistema de aspersores y tuberías, y la evaluación del sistema fotovoltaico necesario para abastecer la energía requerida sin baterías. Los resultados mostraron una demanda hídrica de 126.58 mm, un sistema de riego con siete aspersores que operan con un caudal total de 5 L/s y 18 paneles solares de 320 W cada uno, con un costo total estimado de S/. 41 000. Vilca concluyó que, el proyecto resultó técnica y económicamente viable, presentando una alta rentabilidad, especialmente en la producción de ensilaje de alfalfa, y demostrando la eficiencia del uso de energía fotovoltaica en sistemas de riego agrícola sostenible.

Arizaca (2022) efectuó el estudio con la finalidad de calcular la energía fotovoltaica para un sistema de riego por aspersión en el C.E. Chuquibambilla – Melgar - Puno; La metodología consistió en determinar el caudal del manantial “Pujio”, calcular los parámetros agronómicos e hidráulicos, dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico y estimar el costo total del proyecto. Los resultados indicaron una demanda hídrica de 25.50 m³ diarios para 1.90 ha de alfalfa, un caudal de bombeo de 0.00157 m³/s y una radiación solar de 2122.85 Wh/m², con una potencia requerida de 1228.8 Wp y un presupuesto de S/ 96 718.15. El autor concluyo que, el sistema de riego solar permite reducir los costos energéticos y mejorar el rendimiento del cultivo de alfalfa, promoviendo el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos y energéticos.

2.2 Bases teóricas energía solar fotovoltaica

2.2.1 Energía solar

La energía solar es la radiación electromagnética proveniente del Sol que llega a la superficie terrestre y puede transformarse en energía térmica o eléctrica. Su aprovechamiento es especialmente ventajoso en regiones con alta irradiancia, ya que permite generar electricidad sin combustibles fósiles, reduce costos operativos y ofrece autonomía energética en zonas rurales (Carmona, et al, 2016). En el altiplano peruano, la combinación de altitud, baja humedad atmosférica y cielos despejados genera niveles de irradiancia superiores al promedio nacional, lo que favorece el uso de sistemas fotovoltaicos.

El índice de eficiencia y productividad del consumo de energía solar (principalmente a través de paneles solares) puede aumentarse mediante una serie de vías de investigación, y los resultados son, en general, alentadores. El uso del sistema «Agrivoltaics», que integra paneles solares con análisis agrícolas (Agrivoltaics = agricultura + fotovoltaica), es uno de los más significativos (Munive & Pereira, 2022)

Investigaciones recientes sobre sistemas agrivoltaicos sugieren que las granjas solares podrían ser ideales para cultivos como frutas, legumbres y tubérculos. Además de compartir luz y tierra, este enfoque promueve un funcionamiento recíproco más eficaz (Cely, et al, 2018).

Figura 1

Combinación de dos sistemas



Nota. Adaptado de (Munive & Pereira, 2022)

2.2.2 Irradiancia

La irradiancia es la densidad de potencia radiativa proveniente del Sol que incide sobre una superficie por unidad de área, en un instante específico, expresada en W/m^2 . Representa la magnitud instantánea del flujo energético solar disponible para conversión fotovoltaica o aprovechamiento térmico (ISO, 2020).

Es una variable altamente dinámica, influida por la posición del Sol, el espesor óptico de la atmósfera, la nubosidad, el albedo superficial, el contenido de aerosoles, la latitud y la elevación. A nivel físico, la irradiancia corresponde al vector del flujo radiativo que llega perpendicularmente a la superficie receptora.

La irradiancia total está compuesta por tres componentes:

- Irradiancia directa normal (DNI): radiación que llega directamente desde el disco solar.
- Irradiancia difusa (DHI): radiación dispersada por moléculas y partículas atmosféricas.
- Irradiancia global (GHI): suma de DNI proyectada en plano horizontal + DHI.

En ingeniería fotovoltaica, la irradiancia es fundamental porque determina la potencia eléctrica instantánea entregada por un módulo solar, ya que la producción es directamente proporcional a la irradiancia sobre la superficie del panel (Blumthaler, 2020)

2.2.3 Irradiación

La irradiación es la energía solar total acumulada sobre una superficie durante un intervalo de tiempo, expresada en Wh/m², kWh/m²/día o kWh/m²/año.

Matemáticamente, corresponde a la integración temporal de la irradiancia:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt$$

Donde: H , irradiación; $E(t)$, irradiancia en función del tiempo; t_1 y t_2 , límites del intervalo de integración.

La irradiación es una variable clave en el dimensionamiento fotovoltaico, pues determina:

- La energía solar diaria o anual disponible.
- Las Horas Sol Pico (HSP).
- La producción eléctrica estimada de un sistema FV.
- La viabilidad energética del diseño.

En estudios solares se distingue entre:

- Irradiación diaria: energía acumulada en 24 h.
- Irradiación mensual: promedio mensual multiplicado por días del mes.
- Irradiación anual: total anual utilizada para dimensionamiento FV.

La irradiación depende del ángulo de inclinación, orientación, altitud, radiación directa, difusa y condiciones atmosféricas locales (Huld, 2023).

2.2.4 Sistemas fotovoltaicos

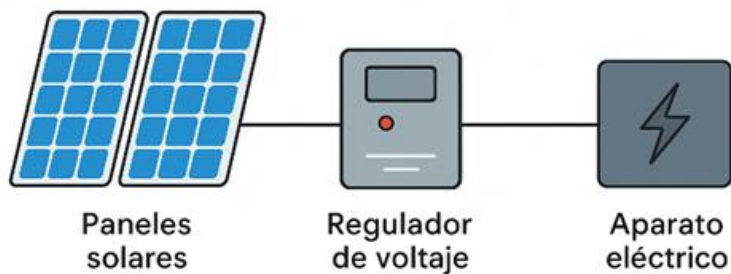
Los sistemas fotovoltaicos son conjuntos de componentes eléctricos diseñados para captar la irradiancia solar y convertirla en energía eléctrica utilizable. Están compuestos por módulos fotovoltaicos, controlador de carga, inversor, cableado y estructura de soporte. Según la IEEE, los sistemas se clasifican en: directos, con almacenamiento y sistemas híbridos.

Sistema fotovoltaico directo

Es una configuración en la que los módulos solares, conectados en serie, en paralelo o en arreglos mixtos, suministran energía eléctrica de manera inmediata al equipo o carga sin necesidad de almacenamiento intermedio. En esta arquitectura, los paneles fotovoltaicos generan corriente continua proporcional a la irradiancia disponible, mientras que un regulador o controlador de voltaje asegura la estabilidad eléctrica del sistema, protegiendo la carga frente a variaciones de tensión y garantizando su operación segura y eficiente. (Chandel & Naik, 2015).

Figura 2

Componentes del sistema fotovoltaico directo



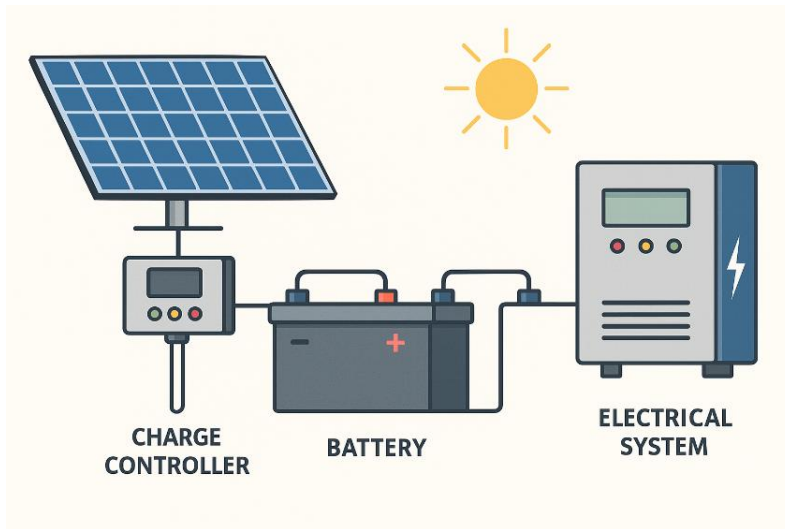
Nota. Adaptado de (Jara H. , 2021)

Sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía:

Es una configuración que combina paneles solares, un regulador de carga y un banco de baterías para captar y almacenar energía solar, permitiendo disponer de electricidad incluso en ausencia de irradiancia. Este tipo de sistema asegura continuidad energética y estabilidad en aplicaciones que requieren suministro constante.

Figura 3

Componentes de un sistema fotovoltaico con almacenamiento



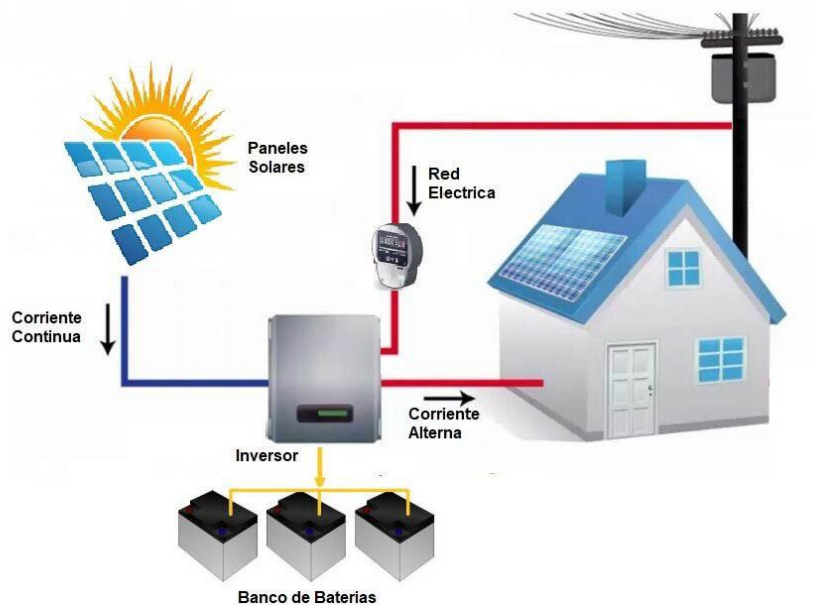
Nota. Adaptado de (Jara H. , 2021)

Sistema fotovoltaico híbridos

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2022) un sistema fotovoltaico híbrido es una instalación que combina módulos solares fotovoltaicos con una o más fuentes adicionales de generación o almacenamiento de energía, como baterías, generadores diésel, eólicos o sistemas conectados a la red eléctrica. Su finalidad es garantizar un suministro energético continuo, eficiente y estable, incluso cuando la irradiación solar es baja o variable. Estos sistemas optimizan la gestión energética mediante controladores inteligentes que coordinan la producción, el almacenamiento y la distribución de la energía, mejorando la fiabilidad y autonomía del sistema en aplicaciones residenciales, rurales e industriales.

Figura 4

Componentes del sistema fotovoltaico híbridos



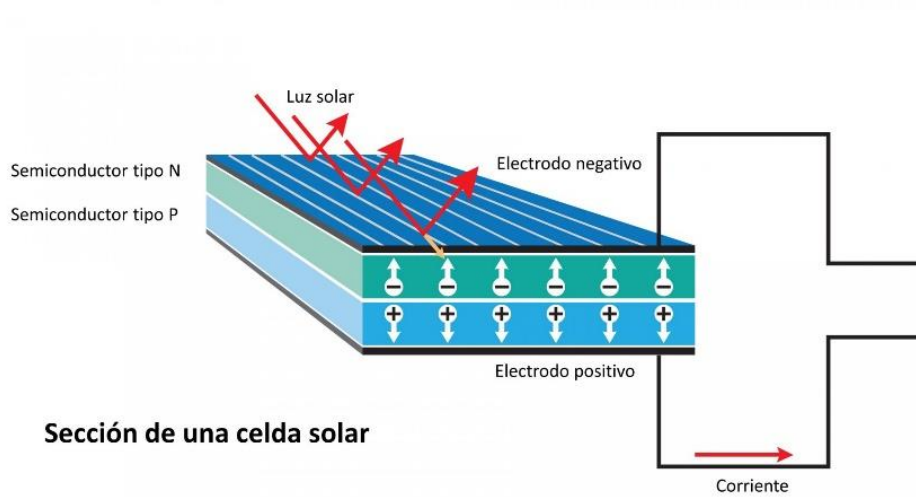
Nota. Adaptado de Alternativas Renovables (AR, 2025)

Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos constituyen el elemento esencial de un sistema solar fotovoltaico, ya que son responsables de convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Cada panel está conformado por múltiples células fotovoltaicas, generalmente fabricadas a base de silicio semiconductor, las cuales se interconectan eléctricamente en serie y/o paralelo para alcanzar los niveles requeridos de tensión y corriente. Estas células se encapsulan en capas protectoras y se integran en un módulo rígido con un marco de aluminio que garantiza estabilidad mecánica, protección frente a agentes ambientales y una adecuada disipación térmica. Existen 3 tipos: amorfos, policristalinos y monocristalinos, estos módulos permiten generar energía eléctrica continua de manera confiable y eficiente (Munive & Pereira, 2022).

Figura 5

Esquema de funcionamiento de un panel solar



Nota. Adaptado de (Valero, 2018)

Regulador de carga

El regulador de carga es el dispositivo encargado de controlar y optimizar el flujo de energía entre los paneles solares y la batería, evitando sobrecargas y descargas profundas para proteger y prolongar la vida útil del sistema de almacenamiento (Valero, 2018).

Baterías o acumuladores

La energía de los paneles solares se almacena como energía química en acumuladores o baterías. Están compuestos por celdas electroquímicas sumergidas en un electrolito conductor y conectadas en serie. El potencial de almacenamiento de las baterías es el factor más trascendental a tener presente a la hora de elegir las. Para medirla se suelen utilizar amperios-hora (Ah) (Munive & Pereira, 2022)

En comparación con las baterías tradicionales, esta clase de baterías (solares) tienen más ciclos de carga y descarga. también ofrecen una serie de beneficios, entre ellas la posibilidad de trasladarlas a otro lugar según sea necesario y el hecho de que no necesitan mantenimiento (Munive & Pereira, 2022).

Inversor

El inversor es el equipo encargado de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares o baterías en corriente alterna (AC), permitiendo alimentar cargas domésticas o industriales y garantizar la correcta sincronización y calidad de energía del sistema.

2.2.5 Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos

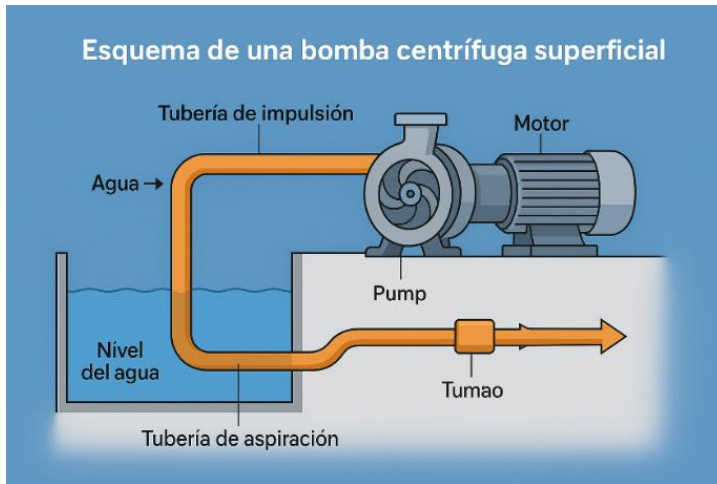
Las bombas típicas del mercado se diseñaron teniendo en cuenta un suministro de energía constante. Por el contrario, la cantidad de electricidad generada por los módulos fotovoltaicos está directamente relacionada con la cantidad de radiación solar presente. Dicho de otro modo, la electricidad producida por los módulos fluctúa con la posición del sol durante el día y, como resultado, la energía suministrada a la bomba también varía. Desde el aspecto mecánico, las bombas centrífugas y volumétricas son los dos tipos de bombas especiales que se han desarrollado para la energía solar (Vilca, 2021)

a) Bombas centrífugas

Cuentan con un impulsor que aspira el agua a través de su eje y la echa radialmente utilizando la fuerza centrífuga de su elevada velocidad. Dependiendo de la cantidad y clase de impulsores, estas bombas pueden ser de superficie o sumergibles y pueden bombear agua hasta una altura dinámica total de 60 metros o más. Su producción de agua aumenta con su velocidad de rotación y están diseñadas para un rango limitado de alturas dinámicas totales (Arhuire & Hanco, 2020).

Figura 6

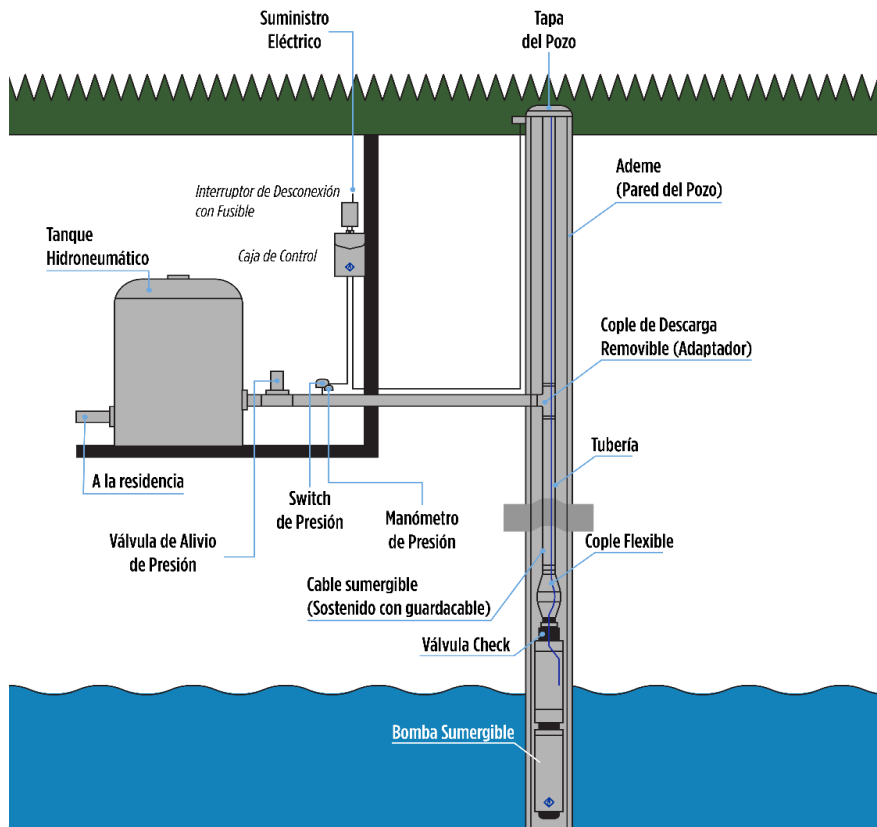
Esquema de una bomba centrífuga superficial.



Nota. Obtenido de (Vilca, 2021).

Figura 7

Esquema de una bomba centrífuga sumergible.



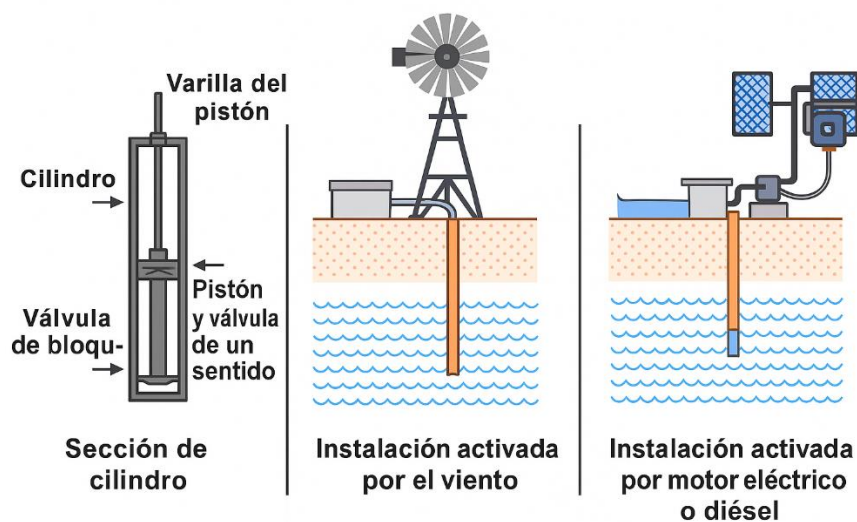
Nota. Obtenido de (Vilca, 2021).

b) Bombas volumétricas

Son adecuadas para aplicaciones que requieren gran profundidad o caudales bajos. Algunas de estas bombas transfieren agua mediante una cámara sellada utilizando un cilindro y un pistón. A medida que aumenta la radiación solar, también incrementa la velocidad del motor, lo que incrementa el caudal de agua a bombear (Rondan, 2016).

Figura 8

Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.



Nota. Obtenido de (Vilca, 2021).

c) Bombas de cilindro

Son populares en aplicaciones de bombeo mecánico impulsadas por tracción humana, animal o eólica, las bombas de cilindro se han utilizado ampliamente durante mucho tiempo. Según su teoría, el agua del pozo ingresa en la cámara del pistón cada vez que este desciende y, cuando sube, el agua es empujada hacia la superficie. Solo una parte del ciclo de bombeo utiliza la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento. Para optimizar la potencia del panel solar, estas bombas suelen estar siempre acopladas a un controlador de corriente (Vilca, 2021).

d) Bombas de diafragma

Estas bombas utilizan diafragmas compuestos por un material resistente y flexible para transportar el agua. El caucho reforzado con elementos sintéticos es el material más utilizado para fabricar diafragmas. Estos materiales son ahora bastante duraderos y, dependiendo de la calidad hídrica, pueden funcionar de forma continua durante dos o tres años antes de tener que ser sustituidos. Los constructores de estas bombas ofrecen un juego de diafragmas nuevos a un precio razonable. Hay disponibles variantes tanto de superficie como sumergibles (Vilca, 2021).

Tabla 1*Principales características de las bombas fotovoltaicas.*

| Bombas fotovoltaicas | Características y ventajas | Desventajas |
|------------------------------------|--|--|
| Centrífugas sumergibles | <ul style="list-style-type: none"> • Ampliamente accesible. • Capaz de soportar una pequeña cantidad de arena. • Se puede utilizar agua como lubricante. • Disponer de motores de CA o CC con velocidades variables. • Manejar caudales elevados. • Trabajar bajo fuertes tensiones dinámicas. | <ul style="list-style-type: none"> • En comparación con los CDT, su rango de eficiencia es limitado. • Hay que sacarlos para su mantenimiento. • Instalarlos cerca de fuentes corrosivas hace que se desgasten más rápidamente. • En comparación con el CDT, su rango de eficiencia es limitado. |
| Centrífugas de succión superficial | <ul style="list-style-type: none"> • Soportar poca cantidad de arena. • Al ser poco profundas, son fáciles de usar y mantener. • Disponer de motores de CA o CC con velocidades variables. • Gestionan Q elevados. • Pueden gestionar grandes cargas dinámicas, pero no pueden aspirar más de 8 m. | <ul style="list-style-type: none"> • Cuando se colocan cerca de fuentes corrosivas, se deterioran más rápidamente. • En zonas más frías, las heladas pueden dañarlos. |
| Diafragma | <ul style="list-style-type: none"> • Son extremadamente económicas | <ul style="list-style-type: none"> • No soportan sedimentos ni arenas. • Las cargas dinámicas profundas no provocan su mal funcionamiento. • Caudales bajos. |

Nota. Obtenido de (Vilca, 2021).

2.2.6 Bombeo con energía solar fotovoltaica

Según Heredia & Sánchez (2017) hay dos opciones disponibles para los sistemas de bombeo solar:

Bombeo solar directo

Se impiden los gastos relacionados con las baterías, a razón de que el agua solo se extrae del pozo en el día y se almacena en un tanque.

Bombeo con baterías

Se instalan en épocas en las que escasea el sol y se utilizan cuando es necesario cumplir requisitos exactos de extracción de agua y garantizar el suministro.

Conducción de agua por bombeo o impulsión

En una estructura de flujo presurizado en la que una bomba proporciona la energía necesaria para la circulación del agua, el equipo de bombeo suministrará la fuerza necesaria para superar la diferencia de nivel entre el punto de succión y el punto de descarga de la línea de descarga, así como las pérdidas locales y las pérdidas por fricción (Meneses, 2013).

Diseño hidráulico

El tamaño de los distintos conductos que disponen el sistema en términos de diámetros, longitudes, caudales, presiones y velocidades se considera el diseño hidráulico. En este punto, los datos calculados en el paso anterior se complementan con las circunstancias técnicas y económicas, así como con las preferencias del agricultor (Palomino, 2016).

Línea de impulsión

El consumo diario máximo, dispersado en el momento más adecuado, se denomina caudal de la línea de suministro (Arizaca, 2022).

Perdida de carga en las tuberías

La pérdida de carga es la disminución de la energía mecánica (o presión) de un fluido a lo largo de una tubería debido a la fricción interna del fluido, la fricción contra las paredes

del conducto y las turbulencias generadas por accesorios, cambios de dirección o variaciones de sección. Se expresa comúnmente como una caída de presión o como altura de energía perdida (m) y se calcula mediante ecuaciones como Darcy–Weisbach o correlaciones empíricas como Hazen–Williams (Arizaca, 2022).

Altura hidráulica de bombeo

Según Arizaca (2022), el incremento global de la carga de flujo a través de la bomba se conoce como altura hidrodinámica total o altura hidráulica de bombeo.

2.2.7 Condiciones para la generación de energía con paneles solares

El rendimiento de un sistema FV depende de:

Irradiancia solar disponible

Se expresa en W/m^2 , la irradiancia disponible es la cantidad de potencia radiante por unidad de área que llega efectivamente a una superficie en un momento y ubicación determinados, considerando únicamente la fracción de radiación que realmente puede aprovecharse para un proceso específico (por ejemplo, generación fotovoltaica, calentamiento solar o fotosíntesis), (ISO S. I., 2022).

En ingeniería solar, la irradiancia disponible representa la porción útil de la energía solar que llega al plano del captador y que puede convertirse en energía eléctrica o térmica.

Inclinación y orientación.

La eficiencia del generador solar viene determinada por la orientación y el ángulo de inclinación de los módulos con respecto al eje horizontal. Para capturar los rayos solares de forma perpendicular en su superficie durante el mediodía, los módulos deben estar inclinados. El uso del generador fotovoltaico determinará el ángulo de inclinación de los módulos (Hospital & González, 2021).

El ángulo ideal de los paneles solares es igual a la latitud del lugar más 10° o 15° , lo que es una buena posición para el invierno y permite una pequeña pérdida de energía en verano. Si se coloca sistemas de inclinación variable, los paneles solares fotovoltaicos deben orientarse hacia el sol en función de la hora, el mes del año y la ubicación

geográfica. Se selecciona una orientación media cuando se fijan los paneles, ya que es la más adecuada para la ubicación (Pedraza, 2020).

Se recomienda que los paneles solares en las tierras altas estén orientados hacia el norte y tengan un ángulo de inclinación ideal de 30° (Vargas, 2018).

Radiación directa, difusa y albedo

La radiación solar directa es la fracción de la energía solar que llega a la superficie terrestre en forma de rayos prácticamente paralelos, procedentes directamente del Sol sin haber sido dispersados de manera significativa por la atmósfera. Este tipo de radiación genera sombras definidas y puede ser concentrada mediante espejos o sistemas ópticos, debido a su direccionalidad.

La radiación difusa es la componente de la radiación solar que ha sido dispersada en múltiples direcciones por las moléculas de aire, partículas en suspensión, polvo atmosférico, neblina y gotas de agua presentes en las nubes. Como resultado de esta dispersión, la luz pierde su direccionalidad original y llega a la superficie desde el hemisferio celeste completo, lo que impide su concentración óptica.

El albedo es la fracción de la radiación solar que, tras alcanzar la superficie terrestre, es reflejada nuevamente hacia la atmósfera. Su valor depende de las características del terreno o material: superficies claras como nieve o arena reflejan gran parte de la radiación, mientras que superficies oscuras como el asfalto absorben la mayor parte, (Vargas, 2018).

Figura 9

Radiación solar directa, difusa y albedo o reflejada



Nota. Obtenido de (Vargas, 2018)

Altitud, y otros factores

La radiación solar está influenciada por la altitud; las regiones elevadas reciben más luz solar que el nivel del mar y, al estar por encima de las nubes, tienen menos cobertura nubosa. (Vargas, 2018)

Sombras y reflejos

En invierno, las nevadas tienen un impacto significativo en la reflexión del suelo, medida por el albedo, que incrementa considerablemente. Según Vargas B. (2018), la proporción de suelo cubierto de nieve nueva con respecto al suelo cubierto de hierba, maleza o suelo normal es de 1 a 4.

Condiciones climatológicas

La idoneidad del clima debe tenerse presente a la hora de dimensionar los paneles solares. Por lo tanto, a menos que se instalen sistemas fotovoltaicos muy grandes, es obligatorio conocer la radiación media del lugar, sin valores exactos (Mejía, 2019).

Conocer la radiación solar útil en el lugar de la instalación, en lo que respecta a los paneles solares, es esencial a la hora de construir sistemas fotovoltaicos. Para un consumo de

energía determinado, este es un parámetro crucial del estudio preliminar: cuanta más energía solar se reciba, menos paneles solares habrá que instalar, y lo contrario (Xue, 2017).

La insolación se presenta en dos formas: gradual e inmediata. Mientras que la segunda está basado en los promedios mensuales de energía solar diaria en la zona, la primera se refiere a los valores de radiación diaria instantánea (Vargas, 2018).

Para calcular la radiación solar se necesita un solarímetro, que puede detectar tanto la radiación difusa como la directa. Para comprender cómo funcionaría el sistema, se puede calcular la radiación solar en un momento específico. Sin embargo, es preferible conocer la radiación durante un período de tiempo más largo, ya que esto puede ofrecer una perspectiva a largo plazo de cómo marcharía el sistema durante varios meses o a lo largo del año, lo que permite supervisar el comportamiento del sistema a lo largo del año (Herrera & Vera, 2020).

Polvo y suciedad

Las pérdidas por el polvo y/o suciedad pueden determinarse mediante un examen visual o medidas especializadas y dependen de la ubicación de la instalación y la frecuencia de las precipitaciones. En superficies con un alto nivel de suciedad, los valores anuales típicos son inferiores al 4 % (Jiménez, 2021).

Pérdidas de conexionado

Cuando se conectan módulos solares con potencias nominales ligeramente diferentes para crear un generador fotovoltaico, se producen pérdidas de energía. Esto ocurre cuando se acoplan en serie dos módulos de corriente diferentes; el módulo de menor corriente establecerá un límite a la corriente en serie. El voltaje de los módulos interconectados no es diferente. En consecuencia, la potencia de un generador es mínimo a la suma de las potencias de sus módulos individuales. Mediante el uso de diodos de derivación y la instalación ordenada de los módulos solares, esto se reduce (Gualancañay & Jaguaco, 2017).

Perdidas angulares y espectrales

Las condiciones de prueba estándar (STC) para los módulos fotovoltaicos son una irradiancia de 1000 W/m² y una temperatura de célula de 25 °C, lo que sugiere una incidencia típica y un espectro estándar. No obstante, durante el funcionamiento típico de un módulo fotovoltaico, ni la incidencia de la radiación ni el espectro son estándar a lo largo de toda la duración del funcionamiento. Se producen pérdidas adicionales si la radiación solar impacta en la superficie de un módulo fotovoltaico en un ángulo distinto de 0°, y estas pérdidas aumentan a medida que el módulo se ensucia (Caicedo, 2019)

Además, la corriente producida varía en base de la longitud de onda de la radiación entrante en el espectro solar. Las ganancias o pérdidas de energía pueden provenir de la reacción de las células fotovoltaicas a los cambios en el espectro solar en relación con el espectro normalizado en un momento dado (Llanca, 2021).

2.2.8 Componentes de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas FV autónomos se componen de:

- Paneles solares
- Controladores de carga
- Baterías (si se requiere autonomía nocturna)
- Inversores (AC) o controladores MPPT (DC)
- Estructuras de soporte
- Protecciones eléctricas

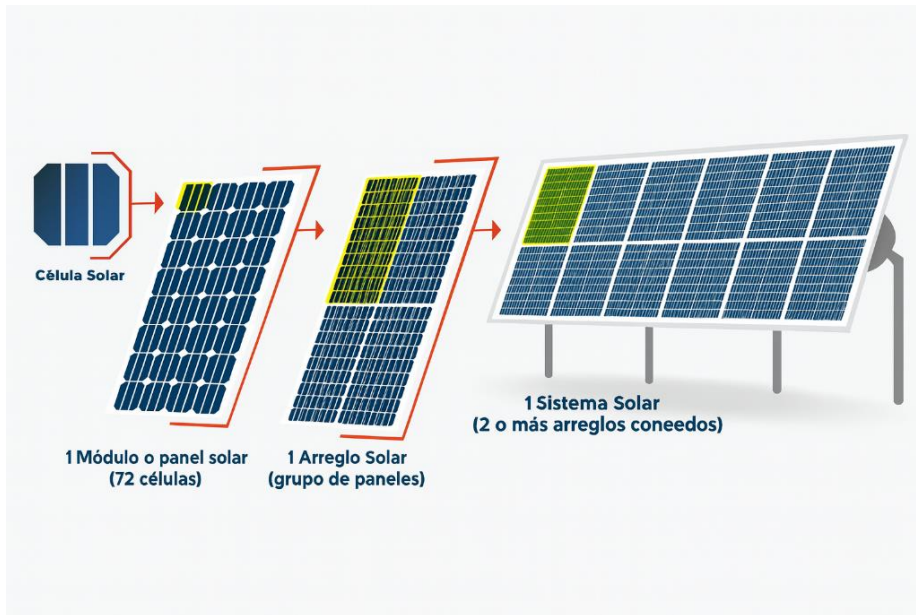
2.2.9 Circuitos de los sistemas fotovoltaicos

Arreglo fotovoltaico

Se trata de un conjunto de paneles que se fijan a una estructura de montaje y se acoplan para proporcionar los valores de corriente y tensión necesarios (Cabrera, 2019).

Figura 10

Celda, Panel y Arreglo fotovoltaico



Nota. Adaptado de (Vargas, 2018)

Para convertir la energía solar en electricidad, las células fotovoltaicas no necesitan piezas móviles. Cuando la luz solar impacta sobre una célula, excita los electrones de la capa de silicio, lo que hace que la célula produzca voltaje y corriente para un circuito eléctrico. Los paneles presentan una vida útil media de 20 años y necesitan muy poco mantenimiento. Para impedir que el polvo frene su ideal funcionamiento, se deben limpiar con un paño seco (Cabrera, 2019).

Según Vargas B (2018) afirma que cada batería o módulo tiene un valor de voltaje que puede conectarse entre sí para proporcionar el voltaje requerido por dicho sistema:

Circuito en serie

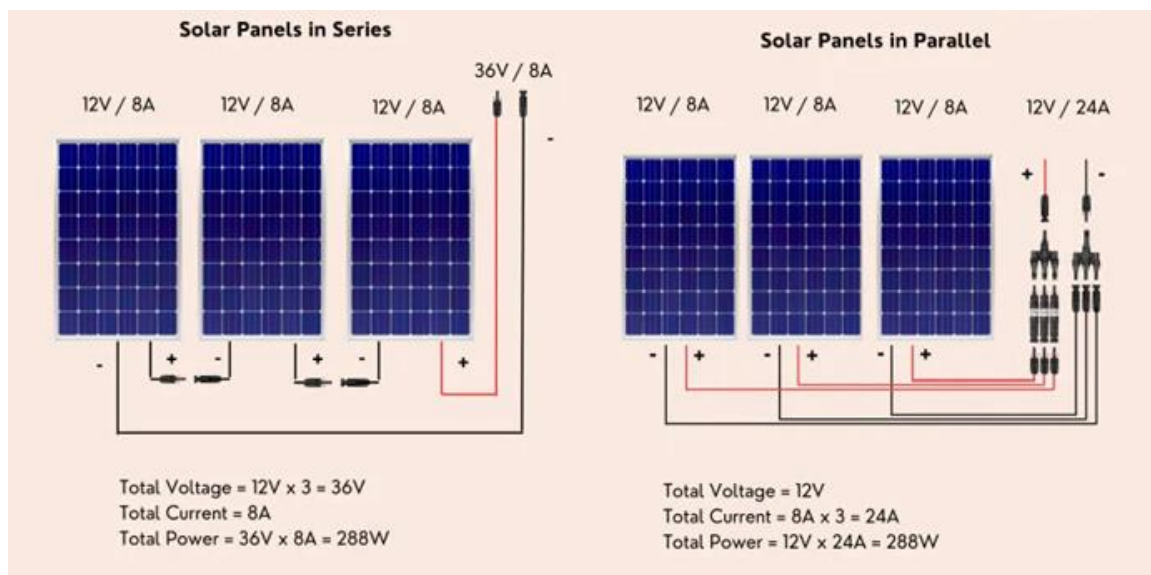
Esto se consigue conectando el terminal positivo (+) de un módulo al terminal negativo (-) de otro módulo con el fin de aumentar el voltaje; la conexión en serie no incrementa la corriente o el amperaje generado (Chozo, 2019).

Circuito en paralelo

Los terminales positivos (+) y positivo (+), así como los terminales negativos (-) y negativo (-), están conectados a los módulos. Cuando las fuentes se interconectan en paralelo, el voltaje del circuito permanece constante mientras que las cargas se suman. Esto se emplea para incrementar la corriente o el amperaje del sistema (Trillo, 2019).

Figura 11

Circuito en configuración serie y paralelo.



Nota. Adaptado de (Vargas, 2018)

Circuito en serie y en paralelo.

Para alcanzar las tensiones y corrientes requeridos, los circuitos suelen utilizar una combinación de conexiones en serie y paralelo (Vargas, 2018).

2.2.10 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo de agua

Para dimensionar un sistema FV para riego hidropónico se consideran:

- Demanda energética de la bomba (W-h/día)
- Horas solar pico del lugar (HSP)
- Autonomía requerida en días sin sol
- Eficiencia del sistema completo

El proceso implica determinar la potencia de paneles, la capacidad del banco de baterías si (en el caso que sea necesario) y la corriente máxima del controlador.

2.2.11 Sistemas de riego

Arizaca (2022), define que es un conjunto de elementos que transportan el agua desde la fuente hasta la parcela y la suministra por ella. El sistema de producción agrícola de regadío, la organización que lo gestiona y mantiene, y la infraestructura conforman el sistema. La combinación de estos tres elementos es esencial para la coherencia y la funcionalidad generales de los sistemas de riego.

Componentes del sistema de riego

Según Arizaca (2022), explica los siguientes componentes del sistema de riego.

Captación

Es la estructura hidráulica destinada a interceptar, recoger y derivar el agua proveniente de manantiales, quebradas, arroyos u otras fuentes superficiales. Su función principal es garantizar un ingreso continuo y controlado del recurso hídrico hacia el sistema, evitando la intrusión de sedimentos, impurezas o caudales no deseados. Su diseño asegura la estabilidad del flujo y la protección de la fuente de abastecimiento.

Línea de conducción o impulsión

La línea de conducción, también denominada línea de impulsión cuando trabaja a presión, es el conjunto de tuberías que permite transportar el caudal captado hasta los puntos de almacenamiento, regulación o distribución del sistema. Su diseño considera la presión de trabajo, pérdidas por fricción y topografía del terreno, garantizando un flujo adecuado y continuo. Está conformada generalmente por tuberías de PVC, PEAD o materiales equivalentes resistentes a presión.

Reservorio

Es un depósito de regulación hidráulica cuya función es estabilizar el sistema, compensando las variaciones entre el caudal que ingresa desde la conducción y el que demandan los dispositivos de riego. Permite operar bajo condiciones de caudal fijo y proporciona una cámara de carga que mantiene una presión constante hacia la red de

distribución. Además, actúa como amortiguador ante fluctuaciones de consumo, garantizando autonomía y seguridad operativa del sistema.

Red de distribución

Está constituida por conductos abiertos o tuberías presurizadas que transportan el caudal desde el reservorio hacia los distintos sectores de riego. En sistemas presurizados se emplean accesorios hidráulicos como válvulas de aire, válvulas de purga, válvulas de control y cámaras rompe presión, los cuales aseguran una conducción eficiente, evitan golpes de ariete y permiten la sectorización y mantenimiento de la red.

Válvula de control

Las válvulas de control son dispositivos hidráulicos diseñados para regular, interrumpir o modular el flujo de agua dentro del sistema. Se ubican generalmente al inicio de las redes principales y secundarias, permitiendo la operación por sectores y facilitando trabajos de mantenimiento o reparaciones. Su correcta distribución garantiza el adecuado funcionamiento del sistema de riego bajo distintas condiciones de operación.

Línea de riego

La línea de riego es la infraestructura encargada de distribuir el agua presurizada directamente hacia el área de riego. Está conformada por tuberías subterráneas de PVC u otros materiales, diseñadas para asegurar que cada hidrante mantenga la presión necesaria para el óptimo desempeño de los aspersores. Por medio de estas líneas se alimentan las tuberías móviles o ramales de aplicación que operan en campo.

2.3 Bases teóricas de hidroponía

2.3.1 Sistemas de riego hidropónico

Los sistemas de riego hidropónico constituyen el componente fundamental de la agricultura sin suelo, ya que permiten suministrar simultáneamente agua, oxígeno y nutrientes esenciales directamente a la zona radicular de las plantas. A diferencia del riego convencional en suelo, donde los nutrientes dependen de la disponibilidad edáfica, la hidroponía permite un control preciso de la composición, concentración y frecuencia del

riego, optimizando la absorción hídrica y la eficiencia nutricional del cultivo (Tarquino, 2018).

En la última década, los sistemas hidropónicos se han consolidado como una alternativa eficiente ante escenarios de sequía, escasez de agua y degradación de suelos, especialmente en regiones altoandinas con limitaciones agroclimáticas como Puno, donde las bajas temperaturas nocturnas y la variabilidad climática reducen la productividad de cultivos tradicionales (FAO, 2022). La hidroponía permite superar dichas restricciones, ya que puede instalarse en invernaderos, vertical farms o ambientes controlados con un consumo reducido de agua y mayor productividad por unidad de área.

2.3.2 Concepto y principios de funcionamiento

La hidroponía es un sistema de cultivo sin suelo donde las raíces crecen sobre soluciones nutritivas o en sustratos inertes como perlita, fibra de coco, arlita o peat moss. La producción se basa en el suministro de macro y micronutrientes disueltos en agua, transportados directamente al sistema radicular mediante riego continuo o intermitente. Según (Resh, 2022), la característica esencial de la hidroponía es que el agua funciona simultáneamente como vehículo nutricional y medio de soporte fisiológico.

Este enfoque permite:

- Control preciso de nutrientes
- Oxigenación adecuada
- Eliminación de patógenos del suelo
- Uso eficiente de agua (80–95 % menos que agricultura tradicional)
- Mayor densidad de siembra
- Producción continua durante el año

2.3.3 Clasificación de sistemas de riego hidropónico

Los sistemas hidropónicos se clasifican en función del método de suministro de agua y nutrientes:

NFT (Nutrient Film Technique)

Consiste en hacer circular una película delgada de solución nutritiva por canales donde se ubican las raíces parcialmente expuestas al aire. Según (Barbosa, 2021), NFT es uno de los sistemas más eficientes para hortalizas de hoja por su bajo consumo hídrico, máxima oxigenación y facilidad de montaje.

Ventajas:

- Bajo consumo de agua
- Excelente oxigenación radicular
- Fácil mantenimiento
- Ideal para lechuga, acelga, espinaca y cilantro

DWC (Deep Water Culture)

Las raíces se sumergen directamente en solución nutritiva aireada mediante difusores de oxígeno. Es útil para climas cálidos, pero requiere control estricto de la temperatura del agua.

Aeroponía

Las raíces quedan suspendidas en aire y reciben nutrientes mediante nebulización. Es el sistema más eficiente, aunque también el más costoso y técnico (Lee, 2022)

Hidroponía por sustrato

Utiliza sustratos inertes. Es el sistema más usado en cultivo de tomate, pepino, fresa y hortalizas de mayor tamaño.

2.3.4 Componentes de un sistema de riego hidropónico

Un sistema hidropónico moderno incorpora:

- Tanque o reservorio de solución nutritiva
- Bomba de recirculación
- Tubos o canales NFT (PVC o polipropileno)
- Línea de retorno por gravedad

- Bandejas de germinación y semillero
- Medidores de pH y CE digitales
- Malla, esponja o contenedores de soporte

En regiones altoandinas se recomienda integrar sistemas solares fotovoltaicos que permitan garantizar continuidad de riego sin depender de la red eléctrica (Quispe, 2023)

2.3.5 Parámetros operativos de riego hidropónico

Los parámetros óptimos dependen del cultivo, pero los rangos recomendados para hortalizas de hoja son:

Tabla 2

Parámetros óptimos para hortalizas

| Parámetro | Valor óptimo | Unidad de medida | Fuente |
|---------------------------------|--------------|------------------|---------------|
| Rango de pH | 5.5–6.5 | - | (Resh, 2022) |
| Rango de Temperatura del agua | 18–24 | °C | (Gruda, 2021) |
| Rango del caudal NFT | 1–2 | L/min por canal | (Lee, 2022) |
| Rango de la Pendiente del canal | 1–3 | % | (FAO, 2022) |

Nota. La información de la tabla fue elaborada a partir de parámetros reportados en investigaciones recientes (Resh, 2022); (Barbosa, 2021); (Gruda, 2021); (Lee, 2022); (FAO, 2022), considerando ajustes por clima frío característico de las zonas altoandinas.

Estos valores garantizan una correcta absorción de nutrientes, reducen el estrés hídrico y evitan problemas como asfixia radicular o acumulación de sales. En clima frío como

Puno, se recomienda monitorear la temperatura del agua, ya que descensos por debajo de 12 °C ralentizan el crecimiento.

2.3.6 Ventajas del riego hidropónico frente al riego convencional

Según Resh (2022), los sistemas de riego hidropónico, en comparación con los sistemas de riego convencional en suelo, presentan una serie de ventajas técnicas, productivas y ambientales ampliamente documentadas, las cuales contribuyen a una mayor eficiencia en el uso de los recursos hídricos, nutricionales y energéticos, así como a una mejora en la productividad y rentabilidad de los cultivos.

- Ahorro de agua del 80–95 %
- Eliminación del riesgo de salinización del suelo
- Uso eficiente de nutrientes (no hay lixiviación)
- Producción continua durante el año
- Menor incidencia de plagas y enfermedades
- Posibilidad de automatizar completamente el riego
- Mayor rentabilidad por m²

En regiones altoandinas como Cabana, esto permite producir hortalizas que normalmente no se cultivan en la zona por clima adverso.

2.3.7 Riego hidropónico y energía fotovoltaica

En zonas rurales donde el acceso a la electricidad es limitado, los sistemas hidropónicos dependen de fuentes alternativas de energía. La integración con sistemas fotovoltaicos permite operar bombas de recirculación con bajo consumo energético, garantizando continuidad del flujo de nutrientes y reduciendo costos operativos.

Estudios recientes demuestran que el bombeo fotovoltaico reduce los costos entre 40–60 % respecto a sistemas eléctricos convencionales (Munive & Pereira, 2022)

2.3.8 Relevancia del riego hidropónico para Cabana – Puno

La comunidad de Cieneguilla, Cabana, presenta:

- Altitudes mayores a 3800 m.

- Temperaturas nocturnas bajas.
- Sequías estacionales.
- Disponibilidad alta de irradiación solar.

Estas condiciones limitan agricultura tradicional, pero favorecen la operación de sistemas hidropónicos en invernadero combinados con energía fotovoltaica (Quispe, 2023).

2.3.9 Ciclo de producción de hortalizas hidropónicas en Puno

Los ciclos de producción dependen del clima. En regiones altoandinas, las temperaturas nocturnas bajas retrasan la madurez, ampliando ligeramente los tiempos totales. Esto se evidencia en los estudios regionales de la UNA-Puno y en la experiencia agronómica local.

Tabla 3

Ciclo hidropónico en NFT (siembra a cosecha)

| Cultivo | Germinación | Semillero | NFT | Total |
|----------------|--------------------|------------------|------------|--------------|
| Lechuga | 3–7 días | 12–18 días | 30–40 días | 45–65 días |
| Espinaca | 5–12 días | 12–20 días | 30–45 días | 50–75 días |
| Acelga baby | 4–8 días | 10–18 días | 30–45 días | 45–65 días |
| Cilantro | 7–12 días | 15–25 días | 30–45 días | 52–82 días |

Nota. Los rangos provienen de estudios recientes sobre hidroponía en NFT (Resh, 2022); (Barbosa, 2021); (FAO, 2022); (Lee, 2022) y fueron adaptados al clima frío de Puno según evaluaciones locales de (Quispe, 2023)

2.3.10 Normativa técnica aplicable a sistemas fotovoltaicos.

El diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos debe basarse en normativas técnicas internacionales que establecen requisitos de calidad, desempeño y seguridad de los componentes del sistema. En la presente investigación se consideran las siguientes normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), aplicables al diseño y evaluación del sistema fotovoltaico propuesto.

La norma IEC 61215 establece los requisitos de diseño y ensayo para la calificación y aprobación de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino, garantizando su desempeño y durabilidad en condiciones de operación reales.

Por su parte, la norma IEC 60891 proporciona métodos para la corrección de los parámetros eléctricos medidos de los módulos fotovoltaicos a condiciones estándar de prueba, permitiendo una evaluación adecuada del rendimiento del generador fotovoltaico bajo diferentes condiciones de irradiancia y temperatura.

Asimismo, la norma IEC 60274 define criterios de seguridad y desempeño para equipos y componentes utilizados en sistemas eléctricos, contribuyendo a la confiabilidad operativa del sistema fotovoltaico y su integración con los equipos de conversión y control empleados en el proyecto.

2.4 Base teórica sobre rentabilidad y evaluación económica

2.4.1 Rentabilidad y Evaluación Económica

La evaluación económica es un proceso fundamental en proyectos agroproductivos, ya que permite determinar si la inversión realizada generará beneficios suficientes para justificar su implementación. En sistemas hidropónicos y en proyectos que integran energías renovables, la evaluación de rentabilidad adquiere especial importancia debido al costo inicial relativamente elevado y al potencial de reducción de costos operativos a mediano y largo plazo (Rodríguez & Morales, 2022).

La rentabilidad mide la capacidad del proyecto para generar utilidades a partir de la inversión, mientras que la evaluación económica comprende el análisis detallado de los costos, ingresos, flujos de caja y beneficios asociados al sistema productivo. Ambos conceptos se utilizan para determinar la viabilidad técnica, económica y financiera del proyecto (González, et al, 2021).

Rentabilidad económica: Mide el rendimiento del proyecto sin considerar su forma de financiamiento.

Rentabilidad financiera: Incluye el costo del capital y evalúa la conveniencia para el inversionista.

En el caso de los sistemas hidropónicos alimentados con energía fotovoltaica, la rentabilidad depende de tres elementos clave: la productividad del cultivo, el ahorro por sustitución de energía eléctrica convencional, la reducción de costos de operación y mantenimiento del sistema de riego (FAO, 2022).

2.4.2 Indicadores usados en la evaluación económica

Para evaluar la viabilidad financiera de un sistema de riego hidropónico alimentado mediante energía fotovoltaica, se emplean diversos indicadores económicos que permiten analizar el retorno de la inversión, los flujos de caja proyectados y la eficiencia económica del proyecto. Los indicadores más utilizados en proyectos de ingeniería agrícola y energías renovables incluyen el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Beneficio/Costo (B/C), el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI o Payback) y el análisis de CAPEX y OPEX. Estos permiten establecer con claridad si el sistema es económicamente rentable y sostenible en el tiempo (Méndez & Cornejo, 2022)

Valor Actual Neto (VAN)

El VAN representa la diferencia entre el valor presente de los ingresos futuros y el valor presente de los costos. Un VAN positivo indica que el proyecto crea valor económico.

Según (Baca Urbina, 2021), es el indicador más confiable para evaluar proyectos agrícolas debido a su capacidad para incorporar el valor del dinero en el tiempo.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Si la TIR es mayor a la tasa mínima aceptable de retorno, el proyecto es financieramente viable (Méndez & Cornejo, 2022).

Relación Beneficio–Costo (B/C)

Este indicador compara los beneficios monetarios con los costos del proyecto. Un valor $B/C > 1$ indica que el proyecto es conveniente.

La (FAO, 2022) lo recomienda para proyectos agropecuarios de pequeña escala.

Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) o Payback

El PRI determina el tiempo necesario para que los ingresos acumulados igualen la inversión inicial. Este indicador es especialmente útil en proyectos fotovoltaicos e hidropónicos porque permite estimar la rapidez del retorno económico en función del ahorro energético y el incremento productivo. Cuanto menor sea el PRI, más atractivo es el proyecto (Rodríguez & Morales, 2022)

CAPEX – Capital Expenditure (Gastos de Capital)

El CAPEX representa la inversión inicial requerida para poner en marcha el proyecto.

Incluye:

- Instalación del sistema hidropónico (canales NFT, bombas, tuberías)
- Adquisición de paneles solares
- Controlador de carga, inversor y baterías
- Estructura y accesorios
- Costos de instalación y montaje

El CAPEX es un componente crítico en proyectos solares, ya que determina la magnitud de la inversión inicial que deberá recuperarse mediante los flujos de caja futuros (IRENA, 2022). Un CAPEX bien optimizado reduce el periodo de retorno y aumenta la rentabilidad global.

OPEX – Operational Expenditure (Gastos Operativos)

El OPEX corresponde a los costos de operación y mantenimiento del sistema.

Incluye:

- Reposición de solución nutritiva
- Reposición de semillas y materiales de cultivo
- Mantenimiento preventivo de bombas
- Limpieza de paneles solares
- Reposición de componentes menores (válvulas, mangueras, accesorios)
- Mano de obra operativa

- Costos anuales de mantenimiento del sistema FV

En sistemas alimentados por energía solar, el OPEX es considerablemente menor que en sistemas dependientes de electricidad convencional, lo que aumenta la rentabilidad a lo largo del tiempo (Munive & Pereira, 2022). Un análisis OPEX eficiente permite proyectar costos reales y estimar la sostenibilidad del proyecto.

2.4.3 Costos en sistemas hidropónicos

Los costos de producción en sistemas hidropónicos pueden dividirse en:

Costos fijos:

- Infraestructura (invernadero)
- Equipos de riego
- Sistema fotovoltaico
- Canales NFT
- Medidores y accesorios

Costos variables:

- Solución nutritiva
- Semillas
- Agua
- Mano de obra
- Reposición de componentes

Estudios recientes reportan que los sistemas hidropónicos reducen entre 40 % y 60 % los costos de agua y fertilizantes respecto al cultivo en suelo (Reyes, et al, 2023)

2.4.4 Costos en sistemas fotovoltaicos

La inversión inicial es mayor en sistemas FV debido a la compra de paneles, reguladores, baterías e inversores. Sin embargo, en zonas con alta irradiancia como Puno, los costos operativos se reducen significativamente debido a:

- Cero consumos de electricidad convencional
- Bajos costos de mantenimiento

- Vida útil de paneles superior a 20 años (IRENA, 2022).

Según (IRENA, 2022) el costo nivelado de electricidad solar ha disminuido más del 80 % en la última década, consolidándola como una fuente competitiva para agricultura.

2.4.5 Beneficios económicos del riego hidropónico con energía fotovoltaica

La combinación hidroponía más energía solar ofrece ventajas económicas relevantes:

- Reducción del costo energético en un 100 % frente a bombas eléctricas de red.
- Mayor producción por metro cuadrado, especialmente en hortalizas de hoja (lechuga, espinaca, acelga, cilantro).
- Posibilidad de producir todo el año, incluso en zonas de clima extremo.
- Disminución de pérdidas por heladas al operar en invernadero.
- Mayor eficiencia hídrica (hasta 95 % menos consumo de agua).

Estudios recientes de América Latina han confirmado que los proyectos hidropónicos solares son altamente rentables en zonas rurales, con TIR entre 20 % y 35 % dependiendo del tipo de cultivo (Munive & Pereira, 2022).

2.4.6 Rentabilidad en contextos rurales altoandinos

En regiones como Cieneguilla–Cabana (Puno), la agricultura enfrenta desafíos como:

- Altitud superior a 3800 m.s.n.m.
- Radiación alta.
- Heladas nocturnas.
- Escasez de agua.
- Costos elevados de energía convencional.

Estas condiciones aumentan los costos de producción tradicionales, pero favorecen la adopción de energías renovables y sistemas hidropónicos protegidos (SENAMHI., 2021).

El uso de sistemas de riego hidropónico alimentados con energía fotovoltaica permite:

- Independencia de la red eléctrica.
- Reducción de costos fijos.
- Revalorización de la producción local.

- Incremento en la rentabilidad agrícola familiar.
- Sostenibilidad ambiental.

En proyectos productivos desarrollados en contextos andinos, la evaluación de la rentabilidad económica se realiza generalmente mediante proyecciones de variables técnicas y financieras a mediano y largo plazo. Estas proyecciones permiten estimar el comportamiento futuro de los ingresos, egresos y ahorros generados por el sistema, constituyendo la base para el cálculo de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión. En la Tabla 4 se presentan los principales elementos considerados en la proyección económica de proyectos agro energéticos aplicables a contextos rurales andinos.

Tabla 4

Proyección de variables económicas en proyectos agro energéticos.

| Elemento de proyección | Descripción conceptual | Finalidad |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| Horizonte de evaluación | Periodo de análisis económico del proyecto (generalmente 15–25 años) | Evaluar rentabilidad de largo plazo |
| Variables proyectadas | Ingresos, egresos, ahorro energético, costos operativos | Estimar flujos de caja |
| Tipo de crecimiento | Lineal o porcentual anual | Representar evolución económica |
| Moneda de evaluación | Moneda constante o corriente | Evitar distorsión por inflación |
| Uso en indicadores | Base para VAN, TIR, B/C y Payback | Medir viabilidad económica |

Nota: Elaboración propia con base en criterios de evaluación económica de proyectos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 **Ámbito de estudio**

El estudio se desarrolló en la comunidad de Cieneguilla, distrito de Cabana, provincia de San Román – Puno, ubicada a una altitud de 3 884 m s.n.m.. Esta zona presenta características agroclimáticas propias del altiplano peruano, tales como alta radiación solar, temperaturas nocturnas bajas, estacionalidad marcada y limitaciones para la agricultura tradicional.

Estas condiciones justifican el uso de sistemas hidropónicos combinados con energía fotovoltaica para garantizar producción sostenible.

Tabla 5

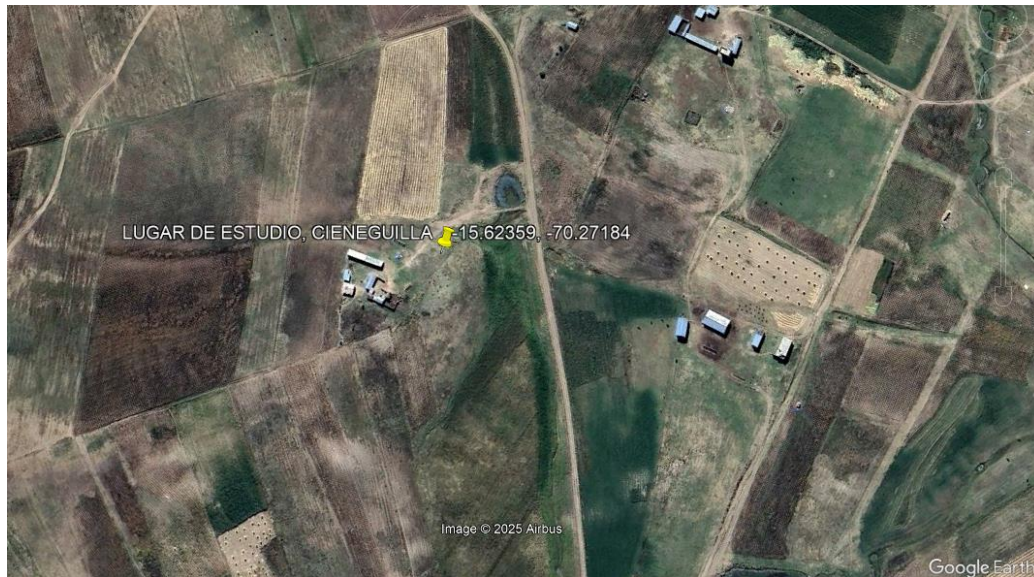
Ubicación del lugar del área de estudio

| Ubicación | | |
|------------------|---------------|-----------|
| País | Perú | |
| Departamento | Puno | |
| Provincia | San Román | |
| Distrito | Cabana | |
| Comunidad | Cieneguillas | |
| Latitud | 15°37'24.92"S | -15.62359 |
| Longitud | 70°16'18.62"O | -70.27184 |
| Altitud | 3884 m.s.n.m. | |

Nota. elaboración propia.

Figura 12

Ámbito de estudio



Nota. Obtenido de Google Earth Pro.

3.2 Tipo y diseño de investigación

3.2.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo:

- **Aplicada**, porque propone y evalúa una solución tecnológica real.
- **Cuantitativa**, debido al análisis numérico de consumo energético, productividad y rentabilidad.
- **Descriptiva – explicativa**, al caracterizar el sistema hidropónico y explicar su desempeño técnico – económico.
- **No experimental**, porque no se manipulan las variables bajo condiciones de laboratorio.

3.2.2 Diseño de investigación

Se emplea un diseño de evaluación tecnológica y económica, donde se modela el sistema de riego hidropónico, se dimensiona el sistema fotovoltaico y se evalúa su rentabilidad mediante indicadores financieros (VAN, TIR, B/C, PRI, CAPEX Y OPEX).

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está constituida por una vivienda en la comunidad de Cieneguilla – Cabana, los cuales integran 10 personas.

3.3.2 Muestra

La muestra corresponde a un sistema hidropónico piloto bajo invernadero, dimensionado para el cultivo de:

- Lechuga (*Lactuca sativa*)
- Espinaca (*Spinacia oleracea*)
- Cilantro de hoja (*Coriandrum sativum*)

El sistema cuenta con 100 canales NFT, PVC de 3 pulgadas de diámetro, 3 metros de longitud cada uno, 14 agujeros por canal, espaciamiento entre agujeros: 25 cm, 25 canales destinados a cada cultivo:

- Lechuga
- Espinaca
- Cilantro de hoja

3.4 Equipos y materiales

3.4.1 Equipos para el análisis solar

- PVGIS para evaluación gratuita de radiación solar.
- Software PVSyst - Metonorm 8.1 para simulación fotovoltaica.
- NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio).
- Nastec Solar Calculator.
- NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables de EE. UU.).
- Hoja de cálculo en Excel para validación manual.

3.4.2 Materiales

Materiales para el sistema hidropónico

- 100 Canales NFT en PVC de 3" x 3m.
- Estructura metálica para soporte de canales.
- Bomba de recirculación PKM 60 PEDROLLO.
- Tanque de solución nutritiva (L).
- Semilleros y esponjas para germinación.
- Sistema de retorno por gravedad.
- Soluciones nutritivas (A y B).
- Válvulas, codos, uniones y accesorios hidráulicos.

Materiales para el sistema fotovoltaico

- Panel solar.
- Inversor.
- Cableado solar con conectores MC4.
- Estructura de soporte metálica.
- Protecciones

3.5 Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico desarrollado en la presente investigación se fundamenta en antecedentes científicos y técnicos relacionados con el diseño de sistemas de riego hidropónico tipo NFT y su integración con sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua. En particular, se toman como referencia estudios previos que emplean metodologías similares para la determinación del recurso solar, el dimensionamiento hidráulico (Resh, 2022) y la evaluación económica de sistemas productivos sostenibles (Rodríguez & Morales, 2022).

No obstante, el procedimiento aplicado no constituye una réplica directa de los antecedentes revisados, sino una adaptación técnica a las condiciones específicas de la comunidad campesina de Cieneguilla, Cabana, considerando factores locales como la radiación solar disponible, el tipo de cultivo hidropónico, el caudal de diseño, la topografía del terreno y la disponibilidad de energía eléctrica de respaldo. En ese sentido, los métodos

utilizados se alinean con enfoques validados en investigaciones previas, asegurando consistencia científica y viabilidad técnica del sistema propuesto.

En la Tabla 6 se aprecia el resumen de la metodología por cada objetivo planteado en la presente investigación.

Tabla 6

Resumen de la metodología por cada objetivo planteado.

| Objetivos específicos | Metodología |
|---|---|
| <p>Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Estimación de la declinación solar • Estimación del ángulo horario de puesta/amanecer • Estimación de horas posibles de sol • Estimación del factor de excentricidad • Estimación de la radiación extraterrestre diaria • Estimación de la radiación en superficie • Estimación de radiación mediante, NASA, PVsyst - Metonorm 8.1, Nastec Solar Calculator, Solar Gis, ENREL |
| <p>Diseñar el sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del sistema hidropónico NFT • Estimación de caudal requerido • Diseño del sistema fotovoltaico |
| <p>Evaluar la rentabilidad económica del sistema en base a los indicadores</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Estimación del VAN • Estimación del TIR • Estimación del payback • Estimación del Capex Opex |

Nota. Elaboración propia.

3.6 Determinación de la radiación solar existente en la comunidad Cieneguilla

El primer objetivo específico de esta investigación es determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla, Cabana, Puno, Perú. Este paso es fundamental, ya que el conocimiento preciso de la irradiancia solar disponible es la base para cualquier proyecto de aprovechamiento energético en la zona, desde sistemas fotovoltaicos hasta aplicaciones térmicas.

La metodología para alcanzar este objetivo se basa en un enfoque multifuente, que permite la validación cruzada de datos y asegura una alta fiabilidad de la información obtenida, de esta manera, se integrarán datos provenientes de diversas plataformas y herramientas de reconocido prestigio internacional en el ámbito de los recursos solares.

Para la recolección de datos, se consultarán bases de datos satelitales y herramientas de simulación, incluyendo:

NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio)

La NASA, a través de su proyecto POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), ofrece acceso público y gratuito a una extensa base de datos de parámetros meteorológicos y de energía solar derivados de satélites. Específicamente, se utilizarán los datos del programa Surface meteorology and Solar Energy (SSE), que proporcionan valores promedio mensuales de irradiancia global horizontal (GHI) en una cuadrícula de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitud/longitud (aproximadamente 111 km por celda). Estos datos son valiosos para ubicaciones remotas como Cieneguilla, donde puede no haber estaciones meteorológicas terrestres cercanas. Se basan en mediciones satelitales históricas (como las del proyecto CERES SYN1deg) y se han recopilado durante períodos prolongados (ej. 1983-2005 para datos SSE legados, y períodos más recientes en las versiones actuales de POWER). Su principal limitación es su resolución espacial relativamente baja, lo que requiere una cuidadosa interpretación para un punto específico.

PVsyst - Metonorm 8.1

Un software líder mundial en el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos. Incluye una base de datos meteorológica integrada llamada Meteonorm 8.1, el cual es una herramienta que interpola datos climáticos de más de 8,000 estaciones meteorológicas terrestres y los

combina con información satelital para generar un "Año Meteorológico Típico" (TMY, por sus siglas en inglés) para casi cualquier punto del globo.

Proporciona datos detallados que incluyen medias mensuales de radiación global, temperatura, velocidad del viento, etc. Cuando no hay una estación terrestre cerca (a menos de 200 km), utiliza principalmente datos satelitales interpolados. Su fuerza reside en la generación de un conjunto de datos coherente y listo para ser utilizado en simulaciones de rendimiento energético detalladas.

Nastec Solar Calculator

Desarrollado por la empresa Nastec, Solar Calculator (NSC) es un software especializado desarrollado y diseñado específicamente para el dimensionamiento y la selección óptima de sistemas de bombeo de agua solares. A diferencia de otras fuentes como NASA, Solar GIS o NREL, que proporcionan bases de datos primarias de irradiancia solar, el NSC es una herramienta de ingeniería aplicada. Permite ingresar parámetros propios del proyecto, tales como el caudal requerido, la altura total de bombeo, la ubicación geográfica (para acceder a datos climáticos internos o externos), así como las características de los paneles solares y bombas Nastec disponibles. Funciona como una herramienta de validación práctica, ayudando a comprobar la viabilidad técnica y a seleccionar los componentes (bombas, variadores y módulos fotovoltaicos) que mejor se ajusten a las condiciones de irradiancia y a los requerimientos hídricos del proyecto.

La fiabilidad se apoya en base en la precisión de sus algoritmos para dimensionar sistemas de bombeo específicos de la marca Nastec, optimizando la eficiencia y compatibilidad entre los componentes. Aunque no es una fuente primaria de datos meteorológicos globales, su utilidad radica en aplicar correctamente datos de irradiancia confiables para obtener un diseño preciso. En el contexto, NSC se empleará posteriormente para la etapa del diseño de sistema de bombeo solar.

Cálculo Teórico

Implica el uso de modelos matemáticos y algoritmos analíticos (ej. el modelo de Hottel, el modelo de Rest2 para cielo claro o modelos de Angstrom modificados) para estimar la radiación solar a partir de parámetros atmosféricos o datos limitados (como horas de sol o temperaturas extremas).

Este enfoque permite una comprensión profunda de los principios físicos subyacentes y es crucial para contrastar la coherencia de los datos satelitales o de software. Su precisión depende en gran medida de la disponibilidad y calidad de los datos de entrada locales y de la idoneidad del modelo para el clima específico de Puno, para ello se utilizarán las siguientes formulas.

Declinación solar δ ($^{\circ}$)

$$\delta = 23,45^{\circ} \times \text{sen}\left(\frac{360(d_n + 284)}{365}\right) \quad (1)$$

Donde: d_n , Días del año juliano

Angulo horario de puesta/amanecer (ω_s)

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varnothing) \times \tan(\delta)) \quad (2)$$

Donde: δ , Angulo de declinación solar ($^{\circ}$); \varnothing , latitud de estudio.

Horas posibles de sol (N)

$$N = \frac{2}{15} \times \omega_s \quad (3)$$

Factor de excentricidad (ε_0)

$$\varepsilon_0 = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{360 \times d_n}{365}\right) \quad (4)$$

Radiación extraterrestre diaria, H_0 (J/m²día)

$$H_0 = \left(\frac{24 \times 3600}{\pi}\right) * I_0 * \varepsilon_0 (X + Y) \quad (5)$$

Dónde: I_0 , Factor de incidencia constante (1367 w/m²); X, es ($\omega_{s,rad} * \text{sen}(\varnothing) * \text{sen}(\delta)$); Y, es($\cos(\varnothing) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega_s)$)

Según el modelo de Angstrom–Prescott para radiación en superficie H (Kw/m²/dia)

$$H = H_0 \left(a + \left(b \times \frac{n}{N} \right) \right) \quad (6)$$

Dónde: *n*, Horas posibles de sol; *N*, horas reales de sol; *a* y *b*, valores predeterminados por Angstrom y refinado por Prescott.

Los valores $a = 0.25$ y $b = 0.50$ corresponden a los coeficientes empíricos propuestos originalmente por Ångström (1924) y refinados por Prescott (1940) para estimar la radiación global diaria a partir de la fracción de horas de sol n/N . Estos coeficientes son considerados estándar en estudios donde no se dispone de calibración local, ya que representan condiciones atmosféricas promedio aceptadas internacionalmente. Asimismo, los valores $n/N = 0.3, 0.5$ y 0.7 se emplean como escenarios teóricos representativos del nivel de nubosidad: 0.3 para días con baja disponibilidad de sol (alta cobertura nubosa), 0.5 para condiciones intermedias o parcialmente nubladas y 0.7 para días mayormente despejados. Esta selección permite evaluar la sensibilidad del modelo ante diferentes niveles de insolación y proporciona un rango realista de variación cuando no existen registros horarios de heliofanía para la localidad de estudio.

Solar Gis

Una plataforma comercial y de pago que ofrece bases de datos de radiación solar de alta precisión y resolución. Proporciona mapas interactivos y acceso a datos históricos y en tiempo real con una resolución espacial superior a muchas fuentes gratuitas, posee alta fiabilidad, utilizando modelos avanzados y calibración con mediciones terrestres. Los datos de Solar Gis suelen considerarse un estándar de la industria para estudios de viabilidad comercial debido a su precisión y consistencia, lo que ayuda a reducir la incertidumbre en las estimaciones de rendimiento.

NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables de EE. UU.)

El NREL es una institución líder en investigación de energías renovables. Ofrecen acceso a la Base de Datos Nacional de Radiación Solar (NSRDB, por sus siglas en inglés) para ubicaciones en América. Estos datos se obtienen mediante el análisis de imágenes satelitales (utilizando modelos como PATMOS-X) y se proporcionan en formatos de Año

Meteorológico Típico (TMY) con alta resolución temporal (horaria) y espacial (nominalmente 4 km x 4 km).

Los datos del NREL son de acceso gratuito y alta calidad, ampliamente utilizados en proyectos de investigación y comerciales. Su resolución más fina que la de la NASA POWER los hace particularmente útiles para estudios localizados en EE. UU., aunque también cubren otras regiones.

La integración de estos datos permitirá obtener un perfil de radiación solar exhaustivo y ajustado a las condiciones específicas de Cieneguilla, proporcionando la información necesaria para los siguientes objetivos de la tesis.

3.7 Diseño del sistema de riego hidropónico NFT alimentado por energía fotovoltaica

3.7.1 Enfoque general del diseño del sistema

El diseño del sistema de riego hidropónico tipo NFT se desarrolló bajo un enfoque técnico-aplicado, considerando las condiciones climáticas, energéticas y productivas de la comunidad campesina de Cieneguilla, distrito de Cabana. El procedimiento metodológico se estructuró en función de los objetivos específicos de la investigación, iniciando con la caracterización del recurso solar, seguido del diseño hidráulico del sistema de riego hidropónico y culminando con la integración del sistema energético y la evaluación económica del proyecto.

El sistema fue concebido para operar 360 días del año, bajo un esquema de operación híbrida, en el cual la energía fotovoltaica abastece el riego durante el día, mientras que la red eléctrica convencional complementa la operación nocturna. Este enfoque permite reducir la inversión inicial del sistema, evitar el uso de baterías y garantizar continuidad operativa en un contexto rural con acceso a red eléctrica.

3.7.2 Diseño del sistema hidropónico Técnica de Película Nutriente (NFT)

El sistema de riego está conformado por un total de 100 canales NFT, distribuidos de la siguiente manera: 50 canales para cultivo de cilantro, 25 para lechuga y 25 para espinaca. Cada canal presenta una longitud de 3 m, un diámetro nominal de 3 pulgadas y una pendiente del 2 %, dispuestos en forma escalonada en bloques de cinco canales por módulo.

La red está compuesta por 20 ingresos principales, cada uno alimentando a un bloque de cinco canales. La solución nutritiva circula por gravedad dentro de cada canal y retorna a un tanque de piso, desde donde es impulsada nuevamente por una electrobomba centrífuga.

Área de producción del sistema hidropónico

El sistema de riego hidropónico NFT se instalará dentro de un invernadero, cuya área total define el espacio físico disponible para la implementación del sistema productivo. El área total del invernadero es de 57 m², determinada según el plano del invernadero presentado en los anexos de la presente investigación.

Esta área permite la correcta disposición de los 100 canales NFT, así como la habilitación de espacios para circulación, operación y mantenimiento del sistema. En consecuencia, el área del invernadero constituye la base espacial del sistema de riego hidropónico y sustenta la estimación de la capacidad productiva anual y el análisis económico desarrollado en los capítulos posteriores.

3.7.3 Caudal requerido ($Q_{\text{diseño}}$)

Según Lee (2022) el caudal recomendado por canal en sistemas hidropónicos tipo NFT se establece en un rango de 1 a 2 L/min, debido a que este flujo garantiza la formación de una lámina delgada y continua de solución nutritiva sobre la base del canal, condición necesaria para mantener un adecuado contacto entre las raíces y la mezcla de nutrientes. Un caudal menor a 1 L/min puede generar interrupciones en el flujo, disminuyendo la oxigenación radicular y provocando zonas de estancamiento que afectan la absorción de nutrientes. Por el contrario, caudales superiores a 2 L/min generan un flujo excesivo que aumenta innecesariamente la demanda energética de la bomba, reduce el tiempo de contacto radicular y puede generar turbulencias que desestabilizan la raíz. El rango de 1–2 L/min constituye por ello un valor óptimo ampliamente aceptado para garantizar estabilidad hidráulica, buena oxigenación y eficiencia energética en módulos NFT de producción hortícola.

$$Q_{\text{ingreso}} = 1 - 2 \text{ L/min}$$

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{ingreso}} \times N_i \quad (7)$$

Donde: Q_{ingreso} , es el caudal por cada de ingreso; N_i , número de ingresos de agua.

3.7.4 Selección de bomba

La selección de la bomba para el sistema de riego hidropónico tipo NFT se realizó considerando como criterio principal la altura dinámica total (HDT) del sistema, ya que esta representa la carga hidráulica que la bomba debe vencer para garantizar el suministro adecuado de la solución nutritiva a todos los ingresos del sistema.

El sistema hidráulico está conformado por ingresos principales de agua, cada uno de los cuales alimenta un conjunto de canales dispuestos en gradiente. Esta disposición permite que el flujo de la solución nutritiva a lo largo de los canales se realice principalmente por efecto gravitacional, reduciendo los requerimientos de presión en los tramos de distribución. En este contexto, la bomba debe proporcionar la presión necesaria para elevar la solución desde el tanque hasta el punto de ingreso más desfavorable del sistema.

La altura dinámica total (HDT) se determinó como la suma de la altura geométrica y las pérdidas de carga del sistema, según la siguiente expresión:

$$HDT = H_{geo} + hf + hm \quad (8)$$

Donde: HDT , Altura Dinámica Total del sistema (m); H_{geo} , Altura geométrica entre el nivel del tanque de solución y el punto más elevado de los ingresos de agua (m); hf , Pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión y conducción (m); hm , Pérdidas menores asociadas a accesorios hidráulicos y derivaciones (m)

Las pérdidas por fricción se estimaron mediante la fórmula de Darcy–Weisbach:

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

Donde: hf , pérdida de carga por fricción en la tubería (m); f , factor de fricción (adimensional), dependiente del régimen de flujo y rugosidad relativa; L , longitud

equivalente del tramo de tubería considerado (m); D , diámetro interno de la tubería (m); V , velocidad media del flujo en la tubería (m/s); g , aceleración de la gravedad (m/s²)

Mientras que las pérdidas menores se evaluaron a partir de:

$$hm = \sum K x \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

Donde: hm , pérdida de carga menor total (m); K , coeficiente de pérdida menor (adimensional) de cada accesorio (codos, válvulas, tees, uniones, reducciones, entradas/salidas, etc.)

Una vez determinada la altura dinámica total del sistema, la bomba se seleccionó verificando que su curva característica de operación permita trabajar a dicha altura, suministrando el caudal requerido para el funcionamiento del sistema NFT. Este procedimiento garantiza que la bomba opere dentro de un rango seguro y eficiente, asegurando la distribución uniforme de la solución nutritiva en todos los ingresos del sistema.

3.7.5 Determinación de la energía hidráulica

La energía hidráulica requerida por el sistema de riego hidropónico tipo NFT se determinó con el fin de establecer la potencia mínima necesaria para el funcionamiento del sistema de bombeo, en función del caudal total requerido y de la altura dinámica total previamente definida. Este procedimiento constituye un paso fundamental para evaluar el consumo energético del sistema y su integración con el sistema energético híbrido propuesto.

La potencia hidráulica se calculó mediante la fórmula:

$$Ph = \rho x g x Q x HDT \quad (11)$$

Donde: Ph , potencia hidráulica requerida por el sistema (W); ρ , densidad del agua (kg/m³)

La potencia hidráulica representa la energía útil que debe suministrar la bomba para vencer la carga hidráulica del sistema y garantizar el transporte de la solución nutritiva hasta los puntos de ingreso del sistema NFT.

Determinación de la potencia eléctrica del sistema de bombeo.

Para estimar la potencia eléctrica requerida por el sistema de bombeo, se consideró la eficiencia global del conjunto bomba–motor. La relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica se expresa como:

$$P_e = \frac{Ph}{\eta} \quad (12)$$

Donde: P_e , potencia eléctrica requerida por la bomba (W); η , eficiencia global del conjunto bomba–motor (adimensional)

Este procedimiento permitió establecer la demanda energética del sistema de riego, información necesaria para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico diurno y la evaluación del consumo energético nocturno alimentado por la red eléctrica.

Determinación de la energía consumida.

La energía consumida por el sistema de bombeo se determinó a partir de la potencia eléctrica requerida y del tiempo de operación del sistema, según la siguiente expresión:

$$E = P_e \times t \quad (13)$$

Donde: E , energía consumida (Wh o kWh); t , tiempo de operación del sistema (h)

Esta formulación permite diferenciar el consumo energético correspondiente al periodo diurno de operación continua y al periodo nocturno de operación intermitente, los cuales serán analizados en el capítulo de resultados.

3.7.6 Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

El factor de seguridad adoptado para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico se estableció con base en criterios técnicos y recomendaciones de guías internacionales para sistemas fotovoltaicos autónomos y de bombeo solar. De acuerdo con lineamientos del IEC 62548 y recomendaciones técnicas del National Renewable Energy Laboratory (NREL), el sobredimensionamiento del generador fotovoltaico es una práctica común para compensar pérdidas por temperatura, suciedad, envejecimiento de los módulos, pérdidas en el sistema de conversión y variabilidad del recurso solar.

En ese sentido, el factor de seguridad de 2.3 empleado en este estudio corresponde a un criterio de diseño conservador, alineado con buenas prácticas de ingeniería, que permite garantizar la continuidad operativa del sistema de bombeo bajo condiciones reales de operación y asegurar el suministro energético requerido por el sistema de riego hidropónico.

$$P_{GFV} = P_{real-electrobomba} \times 2.3 \quad (14)$$

Donde: P_{GFV} , Potencia generada fotovoltaico; $P_{real-electrobomba}$, Potencia real de la electrobomba.

Número total de módulos.

$$N_{Totalmodulos} = \frac{P_{GFV}}{P_{modulo}} \quad (15)$$

Donde: $N_{Totalmodulos}$, Número total de módulos; P_{modulo} , Potencia de modulo

3.7.7 Programación del riego hidropónico NFT

La programación del riego hidropónico tipo NFT se definió como un criterio operativo del sistema, orientado a garantizar el adecuado suministro de solución nutritiva, la oxigenación del sistema radicular y la optimización del consumo energético, considerando la operación híbrida del sistema de bombeo con energía fotovoltaica durante el día y energía de la red eléctrica durante la noche.

Es importante señalar que el diagrama unifilar del sistema representa la configuración eléctrica principal del sistema de bombeo, incluyendo el arreglo fotovoltaico, el variador de frecuencia, el motor eléctrico y las protecciones correspondientes. La programación del riego no implica modificaciones en dicha configuración eléctrica, sino que corresponde a la forma de operación del sistema.

Régimen de operación diurna

Durante el periodo diurno, el sistema de riego se considera en operación continua, coincidiendo con la disponibilidad de energía fotovoltaica y con la mayor actividad fisiológica de los cultivos. En este régimen, la solución nutritiva circula de manera constante a través de los canales NFT, formando una lámina delgada que asegura el

contacto permanente de las raíces con los nutrientes, sin afectar la oxigenación del sistema radicular.

Este modo de operación permite aprovechar directamente la energía generada por el sistema fotovoltaico, sin requerir almacenamiento energético, manteniendo la simplicidad y eficiencia del diseño propuesto.

Régimen de operación nocturna

Durante el periodo nocturno, el sistema de riego se considera bajo un régimen de operación intermitente a nivel operativo, alimentado por la red eléctrica convencional. Este régimen se plantea como una estrategia de operación, basada en la menor demanda hídrica de los cultivos en ausencia de radiación solar, y no como un elemento físico adicional del sistema eléctrico.

La operación intermitente nocturna puede realizarse mediante ajustes operativos del sistema de bombeo, tales como el encendido y apagado periódico del equipo, sin alterar la configuración eléctrica definida en el diagrama unifilar. Este enfoque permite reducir el consumo energético nocturno y mantener condiciones adecuadas de humedad y oxigenación radicular.

3.7.8 Cableado en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC)

El cableado del sistema fotovoltaico y del sistema de bombeo se diseñó con el objetivo de garantizar una transmisión segura y eficiente de la energía eléctrica, minimizando pérdidas por efecto Joule y cumpliendo con los criterios técnicos de seguridad eléctrica. Para ello, se diferenciaron los tramos de corriente continua (DC) correspondientes al generador fotovoltaico y los tramos de corriente alterna (AC) asociados a la alimentación del sistema de bombeo y su conexión a la red eléctrica.

Cableado de baja tensión en corriente continua (DC)

El cableado en corriente continua se consideró desde el arreglo fotovoltaico hasta el equipo de conversión y control, empleando conductores diseñados específicamente para sistemas fotovoltaicos. La selección del conductor se realizó considerando el nivel de corriente máxima del sistema, la longitud del tramo y el límite admisible de caída de tensión.

La sección del conductor en corriente continua se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$S_{DC} = \frac{2 \times L \times I}{\gamma \times \Delta V} \quad (16)$$

Donde: S_{DC} , sección del conductor en DC (mm^2); L , longitud del conductor (m); I , corriente de diseño del sistema fotovoltaico (A); γ , conductividad del material del conductor ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$); ΔV , caída de tensión admisible (V)

Para el diseño del sistema, se estableció un límite máximo de caída de tensión en DC, de acuerdo con criterios técnicos habituales en sistemas fotovoltaicos, con el fin de asegurar el adecuado funcionamiento del generador y reducir pérdidas energéticas.

Cableado de baja tensión en corriente alterna (AC)

El cableado en corriente alterna corresponde al tramo comprendido entre el sistema de conversión, el variador de frecuencia, la electrobomba y la conexión a la red eléctrica. La selección de los conductores en AC se realizó considerando la potencia eléctrica del sistema de bombeo, la corriente nominal del motor y las condiciones de operación del sistema.

La sección del conductor en corriente alterna se determinó mediante la fórmula 14

Para el sistema de bombeo se adoptó una caída de tensión admisible acorde con las recomendaciones técnicas para motores eléctricos, con el fin de evitar sobrecalentamientos, pérdidas de eficiencia y afectación en el desempeño del variador de frecuencia.

Criterios de seguridad y normativos

Adicionalmente, en el diseño del cableado se consideraron los siguientes criterios metodológicos:

- Uso de conductores con aislamiento adecuado para ambientes exteriores y humedad.
- Protección mecánica de los cables mediante canalización o tubería.
- Identificación clara de polaridad en DC y fases en AC.

- Correcta conexión a sistemas de protección y puesta a tierra.

Estos criterios garantizan la seguridad operativa del sistema, la confiabilidad del suministro eléctrico y la durabilidad de la instalación.

3.7.9 Estructuras de soporte del arreglo fotovoltaico

Las estructuras de soporte del arreglo fotovoltaico se diseñaron con el objetivo de garantizar la correcta instalación, estabilidad mecánica y durabilidad de los módulos solares, asegurando además una orientación e inclinación adecuadas para el aprovechamiento del recurso solar disponible en la zona de estudio.

El diseño de las estructuras consideró las condiciones climáticas locales, las características del terreno para la determinación de la estructura se basó en los siguientes criterios técnicos:

Orientación: Los módulos fotovoltaicos se orientaron hacia el norte geográfico, criterio adecuado para instalaciones ubicadas en el hemisferio sur, con el fin de maximizar la captación de radiación solar anual.

Inclinación: La inclinación del arreglo se definió en función de la latitud del lugar y de criterios de optimización anual, buscando un equilibrio entre producción energética, estabilidad estructural y facilidad de mantenimiento.

Resistencia mecánica: Las estructuras se diseñaron para soportar cargas permanentes (peso propio de los módulos y la estructura) y cargas variables asociadas a condiciones ambientales como viento y lluvia.

Materiales: Se consideró el uso de materiales metálicos resistentes a la corrosión, tales como acero galvanizado o aluminio, adecuados para instalaciones exteriores y con alta exposición ambiental.

3.7.10 Sistema de puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra es una conexión eléctrica que une las partes metálicas de una instalación con la tierra para garantizar la seguridad de las personas, proteger los equipos y estabilizar el voltaje.

La puesta a tierra y el enlace equipotencial deben ser hechos de tal manera que sirvan para los siguientes propósitos:

- Proteger y cuidar la vida e integridad física de las personas de las consecuencias que puede ocasionar una descarga eléctrica, y evitar daños a la propiedad, enlazando a tierra las partes metálicas normalmente no energizadas de las instalaciones, equipos, artefactos, etc.
- Limitar las tensiones en los circuitos cuando queden expuestos a tensiones superiores a las que han sido diseñados.
- En general, para limitar la tensión de fase a tierra a 250 V, o menos, en aquellos circuitos de corriente alterna que alimentan a sistemas de alambrado interior.
- Limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas en aquellos circuitos que están expuestos a estos fenómenos; y
- Facilitar la operación de equipos y sistemas eléctricos.

Marco normativo.

- Código nacional de electricidad – Utilización – CNE - 2006.
- Manual de sustentación del código nacional de electricidad utilización – 2006.
- NTP-IEC 60364-5-54.
- Instalaciones de baja tensión - IEC 60364.
- Especificaciones para tierra de sistemas de energía comercial e industrial-IEE 184.

Diseño

Basándonos en la normativa anteriormente citada, tenemos los siguientes datos de entrada:

- Según 060-106 CNE-U, sistemas de corriente alterna, los sistemas de corriente alternan deben ponerse a tierra sí al hacerlo, su máxima tensión a tierra no excede de 250 V; o el sistema tiene conductor neutro. Así mismo, el conductor eléctrico del SPAT no deberá ser mayor al calibre o diámetro de la fase ni menor al calibre de la tabla 17 del CNE-U.

- El valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser mayor a 25 Ω .
- Para la resistividad del terreno se usará un valor de 300 $\Omega\text{-m}$ (CNE-U, Tabla 06), de acuerdo con el tipo de terreno del punto de instalación del sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento tenemos los siguientes datos de entrada.

Tabla 7

Datos de entrada para el sistema de puesta a tierra

| Dato de entrada | Valor |
|--|---------------------------|
| Tensión del Sistema | 220.00 V |
| Diámetro de conductor eléctrico del sistema de alimentación para el bombeo solar | 2.5 mm ² |
| Diámetro del electrodo | 0.0127 m (1/2") |
| Longitud del electrodo | 2.4 m |
| Resistividad eléctrica del terreno natural | 300 ($\Omega\text{-m}$) |
| Resistividad eléctrica del relleno | 30 ($\Omega\text{-m}$) |

Nota. Elaboración propia

3.8 Evaluar la rentabilidad económica del sistema.

La evaluación de la rentabilidad económica del sistema de riego hidropónico con aplicación de energía fotovoltaica se desarrolló con el propósito de determinar la viabilidad económica del proyecto, considerando tanto los ahorros generados por el uso de energía solar fotovoltaica como los ingresos obtenidos por la producción y venta de hortalizas hidropónicas.

Para ello, se emplearon indicadores financieros ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback), Beneficio – Costo (B/C), el

análisis de CAPEX y OPEX, permitiendo analizar el desempeño económico del sistema a lo largo de su vida útil.

3.8.1 Determinación de la inversión inicial (CAPEX)

El CAPEX (Capital Expenditure) corresponde a la inversión inicial requerida para la implementación del sistema. En este estudio, el CAPEX incluye los costos asociados a la adquisición e instalación de los principales componentes del proyecto, tales como:

- Sistema fotovoltaico (módulos, estructuras de soporte y cableado).
- Electrobomba y variador de frecuencia.
- Sistema de riego hidropónico tipo NFT.
- Protecciones eléctricas y sistema de puesta a tierra.
- Costos de instalación y montaje.

Estos costos representan el desembolso inicial necesario para la puesta en marcha del sistema y constituyen la base para el análisis económico posterior.

3.8.2 Determinación de los costos de operación y mantenimiento (OPEX)

El OPEX (Operational Expenditure) corresponde a los costos recurrentes asociados a la operación y mantenimiento del sistema durante su vida útil. En la presente investigación, el OPEX considera principalmente:

- Consumo de energía eléctrica proveniente de la red durante la operación nocturna del sistema.
- Costos de mantenimiento preventivo del sistema de bombeo.
- Mantenimiento del sistema fotovoltaico.
- Reposición de componentes menores del sistema de riego hidropónico.

La estimación del OPEX permite evaluar el impacto de los costos operativos en la rentabilidad del proyecto y su evolución a lo largo del tiempo.

3.8.3 Ahorro energético por uso de energía fotovoltaica

Uno de los principales beneficios económicos del sistema propuesto es el ahorro energético generado durante el periodo diurno, al sustituir el consumo de energía eléctrica

de la red por energía fotovoltaica. Este ahorro se determinó comparando el consumo energético del sistema de bombeo operando con energía convencional frente al consumo energético abastecido por el sistema fotovoltaico durante el día.

El ahorro económico anual se estimó a partir de la energía eléctrica no demandada a la red y de la tarifa eléctrica vigente, constituyendo un flujo positivo dentro del análisis económico del proyecto.

3.8.4 Determinación de los ingresos por producción de hortalizas

Los ingresos económicos del proyecto se determinaron a partir de la producción de hortalizas hidropónicas (lechuga, espinaca y cilantro), considerando el número de ciclos productivos anuales y el rendimiento esperado del sistema. La estimación de los ingresos se realizó en función del volumen de producción y del precio de venta de las hortalizas en el mercado local.

Estos ingresos representan el principal flujo positivo del proyecto y permiten evaluar el impacto económico del sistema de riego hidropónico sobre la rentabilidad total del proyecto.

3.8.5 Valor neto actual VAN

Es un indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto mediante la comparación entre el valor presente de los flujos de caja futuros y la inversión inicial, considerando una tasa de descuento determinada. Este indicador refleja si los beneficios económicos generados por el proyecto son suficientes para compensar el capital invertido y el costo de oportunidad del dinero en el tiempo.

Un VAN positivo indica que el proyecto es económicamente viable y genera valor adicional, mientras que un VAN negativo señala que la inversión no alcanza la rentabilidad mínima esperada. El VAN constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones de inversión, ya que facilita la comparación entre alternativas de proyectos bajo un mismo criterio financiero. No obstante, su análisis debe complementarse con otros indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (Payback) para una evaluación económica integral, se calcula según la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n} \quad (17)$$

Dónde: Qn, Flujo de caja en el año n; I₀, desembolso inicial de la inversión; N, número total de años evaluado; r, tasa de expectativa o tasa de descuento.

3.8.6 Tasa interna de retorno TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una medida que indica el porcentaje de ganancia que produce un proyecto tomando en cuenta todos sus flujos de caja futuros. Es la tasa a la que el proyecto “se paga a sí mismo”, ya que convierte el Valor Actual Neto en cero. Por ello, la TIR permite conocer si la inversión genera un rendimiento suficiente al compararla con la tasa mínima aceptable de retorno. Si la TIR es mayor que dicha tasa, el proyecto se considera económicamente viable.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n} \quad (18)$$

3.8.7 Periodo de recuperación de la inversión PRI o PAYBACK

Es un indicador financiero que determina el tiempo necesario para que un proyecto recupere el monto total de la inversión inicial mediante los flujos de caja netos que genera. Este indicador permite estimar el nivel de riesgo y liquidez de una inversión, ya que un PRI más corto refleja una recuperación más rápida del capital invertido. Aunque no considera el valor del dinero en el tiempo, es ampliamente utilizado por su simplicidad y utilidad en la evaluación preliminar de proyectos.

Se calcula con la fórmula:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (19)$$

Dónde: a, Año inmediato anterior en que se recupera la inversión; b, Inversión Inicial; c, Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión; d, Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

3.8.8 Tratamiento de la inversión del invernadero

Para efectos del análisis económico-financiero del proyecto, la inversión inicial correspondiente a la construcción del invernadero no se considera como un costo directo asumido por el beneficiario, debido a que se propone realizar la gestión de la inversión mediante el Programa FONCODES, en el marco de sus iniciativas de desarrollo productivo y promoción de tecnologías de bajo costo para comunidades rurales.

En el flujo de caja, esta inversión se incorpora como un aporte no reembolsable (subvención), por lo que su valor se registra como costo de inversión igual a cero para el ejecutor del proyecto. Este enfoque evita sobreestimar los requerimientos financieros del agricultor y permite evaluar la rentabilidad real del sistema fotovoltaico e hidropónico considerando únicamente los costos que efectivamente serán asumidos por el usuario final (equipos FV, bomba, tuberías, operación y mantenimiento).

Este tratamiento es metodológicamente válido porque, al no representar un desembolso para el beneficiario, la inversión financiada no afecta el flujo neto de caja del proyecto. De esta manera, los indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación (PRI) reflejan exclusivamente la rentabilidad del sistema tecnológico implementado, sin distorsiones generadas por aportes externos destinados a infraestructura social o productiva.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Determinación de la radiación solar en la comunidad de Cieneguilla – Cabana

Con el fin de cumplir el Objetivo 01, se determinó el recurso solar disponible en la comunidad de Cieneguilla mediante un enfoque comparativo, utilizando diferentes fuentes de información (software y calculadoras especializadas), además del cálculo teórico correspondiente. Esta comparación permitió caracterizar la variación estacional de la irradiación y verificar la consistencia de los valores obtenidos entre fuentes, lo cual constituye la base técnica para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico empleado en el proyecto.

4.1.1 Presentación de resultados

A continuación, se presenta la Tabla 8 y 9, donde se resumen los valores de irradiación mensual y promedio anual obtenidos por las fuentes consultadas, seguida de la Figura 13, que permite visualizar de manera comparativa las tendencias del promedio anual de irradiación.

Tabla 8*Resultados de irradiación mensual de fuentes consultadas y calculo manual.*

| Mes | Nasa | Pvsyst - Metonorm 8.1 | Nastec Solar Calculator | Calculo teórico |
|------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | | kWh/m ² /dia | | |
| Enero | 6.69 | 7.81 | 5.98 | 6.83 |
| Febrero | 6.61 | 7.03 | 5.83 | 6.66 |
| Marzo | 6.45 | 7.13 | 5.93 | 6.20 |
| Abril | 6.13 | 6.8 | 6.22 | 5.48 |
| Mayo | 5.87 | 6.49 | 6.45 | 4.77 |
| Junio | 5.55 | 6.23 | 6.35 | 4.39 |
| Julio | 5.77 | 6.46 | 6.38 | 4.51 |
| Agosto | 6.32 | 6.52 | 6.33 | 5.07 |
| Setiembre | 6.83 | 7.01 | 6.57 | 5.80 |
| Octubre | 7.18 | 7.43 | 6.52 | 6.40 |
| Noviembre | 7.42 | 8.26 | 6.87 | 6.73 |
| Diciembre | 6.97 | 8.02 | 6.67 | 6.84 |

Nota. Elaboración propia a partir de datos obtenidos de las fuentes consultadas.

Tabla 9

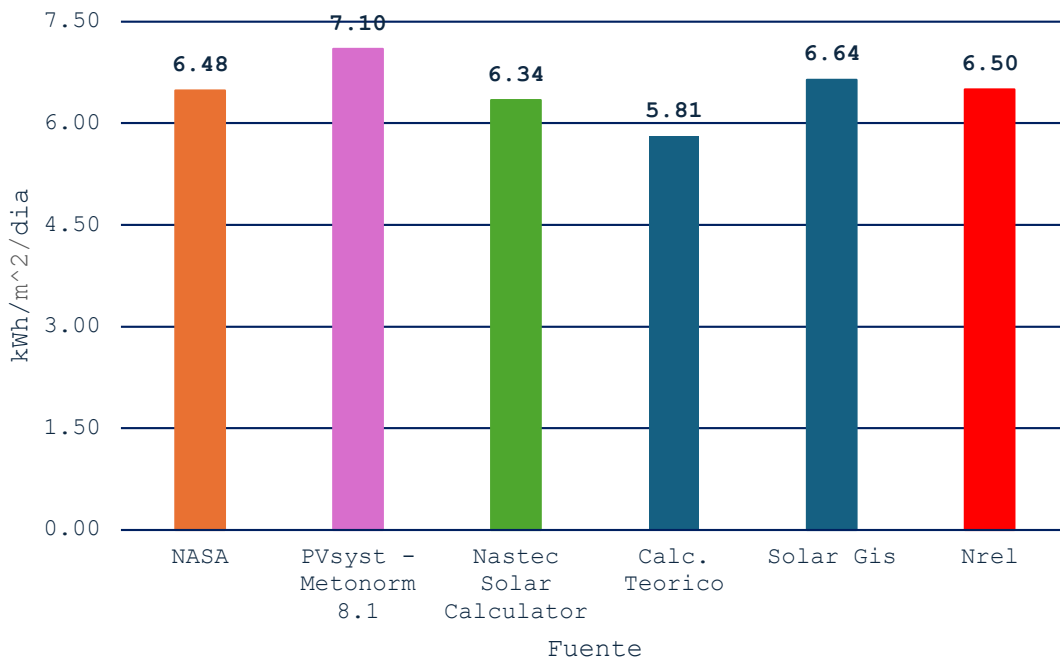
Resultados de irradiación promedio anual

| | Nasa | Pvsyst - Metonorm 8.1 | Nastec Solar Calculator | Calculo Teorico | Solar Gis | Nrel |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------|--------------|------|
| | kWh/m ² /dia | | | | | |
| Prom. anual | 6.48 | 7.10 | 6.34 | 5.81 | 6.64 | 6.50 |

Nota. Elaboración propia a partir de datos obtenidos de las fuentes consultadas.

Figura 13

Comparación de la irradiación promedio anual.



Nota. Elaboración propia a partir de datos obtenidos de las fuentes consultadas.

Los resultados muestran que la irradiación solar presenta una variación estacional marcada, con valores mínimos durante los meses de invierno (principalmente junio y julio) y valores máximos durante los meses de primavera y verano (entre octubre y diciembre), ver anexo 02. En términos cuantitativos, los valores mensuales de irradiación

se mantienen dentro de un rango elevado a lo largo del año, lo que evidencia una alta disponibilidad del recurso solar en la zona de estudio.

La comparación entre las diferentes fuentes de información refleja diferencias numéricas moderadas en los valores mensuales de irradiación. Estas diferencias se deben principalmente a los métodos de estimación, a la resolución espacial, a los modelos atmosféricos empleados y al periodo de datos históricos considerado por cada fuente. No obstante, pese a estas variaciones, todas las fuentes analizadas presentan una tendencia mensual similar, lo que confirma la consistencia del comportamiento estacional del recurso solar en la comunidad de Cieneguilla.

Es importante señalar que los valores de irradiación presentados en la tabla no corresponden a mediciones de un solo año, sino que representan promedios multianuales, obtenidos a partir de series históricas de varios años. En general, las bases de datos utilizadas para este tipo de estimaciones consideran periodos prolongados de información climática, lo que permite reducir la influencia de anomalías climáticas puntuales y obtener valores representativos del comportamiento solar medio del sitio.

Para el desarrollo de los objetivos posteriores del presente estudio, se adoptaron los valores de irradiación obtenidos mediante NASTEC Solar Calculator. Esta decisión se sustenta técnicamente en que dicha herramienta proporciona datos derivados de bases de información climática multianual, integrando modelos de radiación solar que consideran condiciones atmosféricas, geográficas y estacionales propias de la zona de estudio. Asimismo, los valores obtenidos con NASTEC se encuentran dentro del rango definido por las demás fuentes analizadas, lo que valida su consistencia y confiabilidad para fines de diseño.

Por otro lado, si bien el cálculo teórico o manual de la irradiación solar constituye una herramienta útil para fines académicos y de aproximación inicial, este método requiere la asunción de diversos parámetros tales como coeficientes atmosféricos, nubosidad y condiciones promedio del entorno. Estas suposiciones convierten al cálculo teórico en un procedimiento de carácter empírico, cuya precisión depende fuertemente de los valores asumidos. Por esta razón, en el presente estudio el cálculo teórico se empleó únicamente como referencia comparativa, mas no como fuente principal para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

En consecuencia, la selección de NASTEC Solar Calculator como fuente de datos para los objetivos siguientes permite trabajar con información climática representativa, consistente y técnicamente sustentada, reduciendo la incertidumbre asociada al diseño energético del sistema. Los resultados obtenidos en este objetivo confirman que la comunidad de Cieneguilla dispone de un recurso solar adecuado para la implementación de sistemas fotovoltaicos aplicados al riego hidropónico NFT, constituyendo la base técnica para el desarrollo de los demás objetivos.

Finalmente, la concordancia general entre métodos demuestra que no existe riesgo técnico asociado a la variabilidad de datos, y que los valores calculados poseen validez para su uso en procesos de diseño energético, análisis económico y modelamiento fotovoltaico, logrando cumplir plenamente el primer objetivo de la investigación.

4.2 Diseño del sistema hidropónicos NFT con la aplicación de energía fotovoltaica.

Para el cumplimiento del objetivo 02, se desarrolló el diseño del sistema de riego hidropónico tipo NFT bajo invernadero, integrando el dimensionamiento hidráulico (configuración de canales, caudales, pendiente, selección de bomba) con el sistema energético (arreglo fotovoltaico, variador de frecuencia, cableado y protecciones). Este diseño se realizó con base en la información del recurso solar definida en el Objetivo 01, adoptando como fuente principal los datos de NASTEC Solar Calculator para el desarrollo del sistema fotovoltaico y la evaluación energética asociada, debido a su consistencia con el comportamiento multianual observado en las fuentes comparadas.

El sistema opera bajo un esquema híbrido, en el cual la energía fotovoltaica abastece la operación durante el día y la red eléctrica abastece la operación nocturna. Este enfoque permite asegurar continuidad operativa sin incorporar almacenamiento energético, manteniendo un diseño técnico viable y económicamente competitivo.

4.2.1 Configuración del sistema NFT y distribución hidráulica

Para el diseño del sistema de riego hidropónico tipo NFT se definió una configuración modular basada en bloques hidráulicos, con el objetivo de facilitar la distribución uniforme de la solución nutritiva, mejorar el control operativo por sectores y simplificar labores de mantenimiento. El sistema se compone de 100 canales distribuidos en 4 bloques, donde cada bloque cuenta con 5 ingresos principales de agua. En total, el sistema

presenta 20 ingresos, y cada ingreso abastece 5 canales dispuestos en gradiente, lo que favorece el flujo por gravedad a lo largo de los canales NFT.

Esta configuración permite representar de forma clara la arquitectura hidráulica del sistema, estableciendo la base para la determinación del caudal de diseño, la selección de la bomba y la evaluación energética asociada en los puntos siguientes.

Asimismo, cada canal cuenta con 14 orificios de cultivo, lo que permite establecer el número total de plantas del sistema y relacionar la configuración hidráulica con la capacidad productiva del sistema hidropónico.

Tabla 10*Configuración general del sistema hidropónico NFT*

| Parámetro | Valor | Unidad | Observación técnica |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------------|
| Número total de canales NFT | 100 | canales | Sistema completo |
| Número de bloques | 4 | bloques | Sectorización hidráulica |
| Canales por bloque | 25 | canales/bloque | Distribución uniforme |
| Ingresos principales por bloque | 5 | ingresos/bloque | Alimentación por bloque |
| Número total de ingresos principales | 20 | ingresos | Total del sistema |
| Longitud del canal | 3 | m | Longitud unitaria |
| Diámetro nominal del canal | 3 | pulgadas | Canal NFT |
| Pendiente del canal | 2 | % | Flujo por gravedad |
| Orificios por canal | 14 | orificios/canal | Puntos de cultivo |
| Número total de plantas | 1400 | plantas | 100 x 14 |

Nota. Elaboración propia

La distribución de los cultivos (lechuga, espinaca y cilantro) se realiza asignando bloques o conjuntos de canales por cultivo, sin modificar la configuración hidráulica general del sistema.

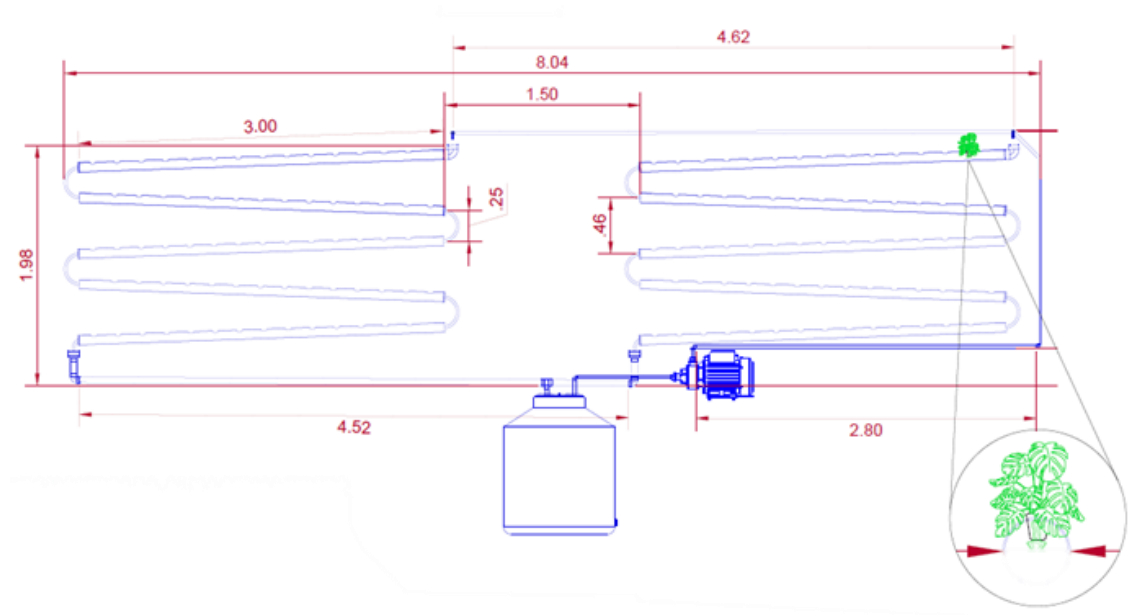
La configuración del sistema en bloques con ingresos principales permite representar de manera realista el funcionamiento hidráulico del sistema NFT, ya que el caudal se distribuye por puntos de ingreso hacia conjuntos de canales. La disposición de los canales

en gradiente favorece el flujo continuo por gravedad, mejora la oxigenación radicular y contribuye a reducir las pérdidas de carga en la etapa de distribución. Además, la definición del número de canales y orificios por canal permite vincular el diseño hidráulico con la capacidad productiva del sistema, aspecto clave para la evaluación técnica y económica del proyecto.

El sistema de riego hidropónico NFT estará dentro de un invernadero (Anexo 06)

Figura 14

Configuración del sistema de riego NFT e hidráulico



Nota. Elaboración propia.

4.2.2 Determinación del caudal de diseño del sistema

Con base en la configuración hidráulica definida en el ítem anterior, se procedió a determinar el caudal de diseño del sistema de riego hidropónico tipo NFT, considerando el número de ingresos, la forma de distribución por ingresos principales y el caudal unitario requerido para garantizar una lámina continua de solución nutritiva en cada canal.

Para el presente sistema se adoptó un caudal unitario de 1 L/min por canal, valor comúnmente utilizado en sistemas NFT, ya que permite mantener un flujo constante sin generar encharcamientos ni déficit de oxigenación radicular. Este caudal se consideró uniforme para todos los canales del sistema y se calculó mediante la fórmula 07.

Tabla 11*Caudal de diseño del sistema NFT*

| Concepto | Valor | Unidad | Observación |
|-----------------------------|-------|----------|-----------------------|
| Caudal unitario por ingreso | 1 | L/min | Flujo continuo en NFT |
| Número total de ingresos | 20 | ingresos | Sistema completo |
| Caudal total de diseño | 20 | L/min | Caudal de diseño |

Nota. Elaboración propia

El caudal total de diseño de 20 L/min garantiza el suministro uniforme de solución nutritiva a los 100 canales NFT del sistema, manteniendo el caudal recomendado por canal y respetando la distribución real del sistema mediante ingresos principales. La determinación del caudal en función de ingresos, y no únicamente del número total de canales, permite representar con mayor precisión el funcionamiento hidráulico del sistema y constituye un parámetro fundamental para la correcta selección de la bomba y la estimación de la demanda energética.

Asimismo, la adopción de un caudal unitario de 1 L/min por canal contribuye a optimizar el consumo energético del sistema, evitando sobredimensionamientos hidráulicos que podrían incrementar innecesariamente la potencia requerida del sistema de bombeo.

4.2.3 Pendiente del canal NFT y condición de flujo

Una vez definido el caudal de diseño del sistema, se procedió a establecer la pendiente de los canales NFT, con el objetivo de asegurar un flujo continuo y estable de la solución nutritiva a lo largo de cada canal, evitando estancamientos y favoreciendo la oxigenación del sistema radicular.

Para el presente diseño se adoptó una pendiente del 2 % en los canales NFT, valor que se encuentra dentro del rango recomendado para este tipo de sistemas y que permite un adecuado desplazamiento gravitacional de la solución nutritiva.

Tabla 12

Parámetros geométricos del canal NFT

| Parámetro | Valor | Unidad | Observación |
|----------------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Longitud del canal | 3 | m | Canal NFT |
| Pendiente adoptada | 2 | % | Flujo por gravedad |
| Diferencia de altura | 0.06 | m | Caída total por canal |

Nota. Elaboración propia.

La pendiente del 2 % garantiza que la solución nutritiva fluya de manera continua a lo largo del canal NFT, formando una lámina delgada que entra en contacto permanente con las raíces de las plantas. Esta condición es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema NFT, ya que evita la acumulación de solución en puntos bajos del canal y mejora la oxigenación radicular.

Asimismo, la adopción de esta pendiente contribuye a reducir la demanda de presión del sistema, ya que el transporte de la solución a lo largo del canal se realiza principalmente por efecto gravitacional. Esto tiene un impacto positivo en el diseño hidráulico y energético del sistema, al disminuir las pérdidas de carga asociadas a la distribución y facilitar la selección de una bomba de menor potencia.

En conjunto, la longitud del canal, la pendiente adoptada y el caudal unitario definido en el ítem anterior aseguran condiciones hidráulicas estables y uniformes para el funcionamiento del sistema de riego hidropónico NFT.

4.2.4 Selección de la bomba en función de la Altura Dinámica Total (HDT)

Una vez determinado el caudal total de diseño del sistema ($Q_{\text{diseño}}=20 \text{ L/min}$), se procedió a estimar la Altura Dinámica Total (HDT), parámetro fundamental para la selección de la bomba, ya que representa la carga hidráulica total que el equipo debe vencer para transportar la solución nutritiva desde el reservorio hasta el punto de distribución.

Para el sistema propuesto se consideraron los siguientes parámetros:

Profundidad de succión: 1.20 m

- Caudal de diseño $20 \text{ L/min} \approx 0.000333 \text{ m}^3/\text{s}$
- Elevación a superficie/piso: 3.00 m
- Longitud total de tubería: 21.03 m
- 6 codos de 90°
- Diámetro de tubería: 1" (25.4 mm)
- Material asumido: PVC (rugosidad típica = 0.0015 mm)

Con el propósito de considerar variaciones operativas (incremento de pérdidas por envejecimiento, incrustaciones, tolerancias de instalación y condiciones reales de operación), se aplicó un factor de seguridad de 1.5 sobre la HDT calculada, con estos valores obtenemos la HDT el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13*Resumen de componentes de la HDT y valor de diseño*

| Componente | Símbolo | Valor | Unidad |
|-------------------------------|------------------|--------------|---------------|
| Altura de succión | (Hs) | 1.2 | m |
| Altura de descarga/elevación | (Hd) | 3 | m |
| Pérdidas por fricción | (hf) | 0.5 | m |
| Pérdidas menores (accesorios) | (h_m) | 0.12 | m |
| HDT calculada | HDT | 4.82 | m |
| Factor de seguridad | | 1.5 | — |
| HDT de diseño | HDTdiseño | 7.23 | m |

Nota. Elaboración propia

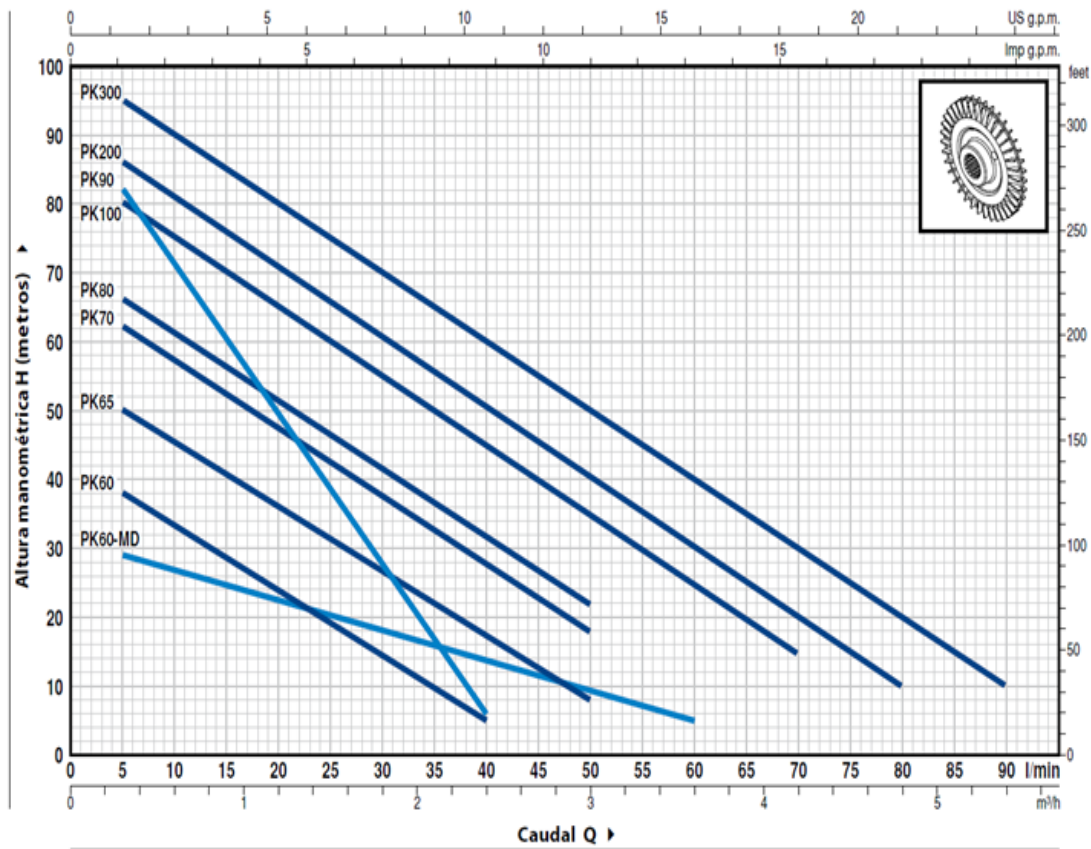
Selección de la bomba

Con los parámetros de diseño definidos, el punto de operación requerido para la selección de la bomba corresponde a:

- Caudal de diseño: $Q = 20 \text{ L/min}$
- Altura dinámica de diseño: $HDT = 7.23$

Figura 15

Curva característica de la electrobomba centrífuga Pedrollo PKm 60.



Nota. Obtenido del catálogo técnico de Pedrollo

Tabla 14

Tabla de selección hidráulica de la electrobomba Pedrollo modelo PKm 60.

| MODELO | | POTENCIA (P ₂) | | Q | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|------|-------|-------------------|----|------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| Monofásica | Trifásica | kW | HP | | m ³ /h | 0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | | |
| | | | | l/min | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | | | |
| PKm 60 [®] | PK 60 [®] | 0.37 | 0.50 | | 40 | 38 | 33.5 | 29 | 24 | 19.5 | 15 | 10 | 5 | | | | | | | | |
| PKm 60 [®] -MD | PK 60 [®] -MD | 0.37 | 0.50 | | 30 | 29 | 26.5 | 24.5 | 22.5 | 20.5 | 18 | 16 | 13.5 | 9.5 | 5 | | | | | | |
| PKm 65 | PK 65 | 0.50 | 0.70 | | 55 | 50 | 45.5 | 40.5 | 36 | 31 | 27 | 22 | 17 | 8 | | | | | | | |
| PKm 70 | PK 70 | 0.60 | 0.85 | | 65 | 62 | 57 | 52 | 47 | 42 | 37 | 32 | 27 | 18 | | | | | | | |
| PKm 80 | PK 80 | 0.75 | 1 | | 70 | 66 | 61 | 56 | 51 | 46 | 41 | 36.5 | 31 | 22 | | | | | | | |
| PKm 90 | PK 90 | 0.75 | 1 | | 90 | 82 | 71 | 60 | 49 | 38 | 27 | 17 | 5 | | | | | | | | |
| PKm 100 | PK 100 | 1.1 | 1.5 | | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 35 | 25 | 15 | | | | | |
| PKm 200 | PK 200 | 1.5 | 2 | | 90 | 86 | 81 | 76 | 71 | 65.5 | 60 | 55 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | | | | |
| - | PK 300 | 2.2 | 3 | | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | | | |

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B

Nota. La tabla muestra la potencia, caudal y altura manométrica para diferentes modelos de la serie PK/PKm de Pedrollo, destacando el desempeño del modelo PKm 60 utilizado en el presente diseño.

4.2.5 Determinación de la potencia hidráulica

Una vez definida la Altura Dinámica Total de diseño y el caudal de operación del sistema, se procedió a estimar la potencia hidráulica requerida, con el fin de evaluar la energía útil necesaria para el transporte de la solución nutritiva. Este cálculo constituye un criterio fundamental para la selección preliminar del equipo de bombeo.

Tabla 15*Valores de potencia y demanda energética del sistema de bombeo*

| Parámetro | Valor | Unidad |
|----------------------------------|---------------|----------------|
| Potencia hidráulica requerida | 0.03 | HP |
| Potencia nominal de la bomba | 0.5 | HP |
| Potencia eléctrica equivalente | 373 | W |
| Tensión de alimentación | 220 | V |
| Tipo de motor | Monofásico | — |
| Sistema de control | Variador INVT | — |
| Tiempo de operación diaria | 8 | h |
| Demanda energética diaria | 2.98 | kWh/día |

Nota. Elaboración propia

Si bien la potencia hidráulica calculada es reducida, este valor no representa la potencia eléctrica real que debe suministrar el motor, ya que no considera las pérdidas mecánicas, hidráulicas y eléctricas propias del sistema. Asimismo, en la práctica de ingeniería, los equipos de bombeo se seleccionan en función de potencias comerciales normalizadas, garantizando un funcionamiento estable y confiable.

En este contexto, se seleccionó una bomba centrífuga Pedrollo PKM60 de 0.5 HP, la cual opera de manera holgada respecto a la potencia hidráulica requerida y se encuentra dentro de su curva característica para el caudal y la altura de diseño. Esta selección permite absorber variaciones operativas, pérdidas adicionales no consideradas explícitamente y condiciones reales de instalación, asegurando la continuidad del riego hidropónico.

La diferencia entre la potencia hidráulica requerida y la potencia nominal de la bomba seleccionada evidencia la necesidad de considerar criterios técnicos y comerciales en la selección del equipo. El uso de una bomba de 0.5 HP garantiza un funcionamiento seguro, confiable y compatible con el sistema fotovoltaico propuesto, constituyendo además la base para el dimensionamiento energético y la evaluación económica del proyecto.

4.2.6 Selección del variador de frecuencia para el sistema de bombeo.

Para el control y operación del sistema de bombeo se seleccionó un variador de frecuencia, con el objetivo de garantizar un arranque suave del motor, regular la velocidad de operación, mejorar la eficiencia energética y asegurar la compatibilidad entre el sistema fotovoltaico, la red eléctrica y la bomba seleccionada.

En este estudio se adoptó el variador de frecuencia INVT modelo BPD0K7 TN, con una potencia nominal de 1 HP, el cual resulta adecuado para la operación de la bomba Pedrollo PKM60 de 0.5 HP, proporcionando un margen técnico suficiente para un funcionamiento estable y seguro del sistema.

La selección del variador de frecuencia INVT BPD0K7 TN se fundamenta en los siguientes criterios técnicos:

- **Compatibilidad con la potencia del motor:** El variador posee una potencia nominal de 1 HP, superior a la potencia del motor de la bomba (0.5 HP), lo que permite operar el equipo sin sobrecargas, absorber picos transitorios y mejorar la confiabilidad del sistema.
- **Alimentación monofásica:** El variador es compatible con sistemas de alimentación monofásica de 220 V, condición acorde con la infraestructura eléctrica disponible y con las características del motor de la bomba seleccionada.
- **Control de velocidad del motor:** El uso del variador permite ajustar la velocidad de rotación del motor en función de los requerimientos hidráulicos del sistema, evitando operaciones a régimen fijo y contribuyendo a la optimización del consumo energético.
- **Arranque y parada suave:** El variador reduce las corrientes de arranque y los esfuerzos mecánicos sobre la bomba y el sistema de tuberías, prolongando la vida útil de los componentes del sistema de riego.

- Integración con sistemas de energía fotovoltaica: El modelo seleccionado permite su integración con el sistema energético híbrido propuesto, facilitando la operación del bombeo durante el periodo diurno con energía fotovoltaica y durante el periodo nocturno con energía de la red eléctrica.
- Protecciones eléctricas incorporadas: El variador cuenta con funciones de protección frente a sobrecorriente, sobrevoltaje, subtensión y sobretemperatura, lo que incrementa la seguridad operativa del sistema.

Tabla 16

Características técnicas del variador de frecuencia solar.

| Modelo | INVT BPD0K7 TN (AC) |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Entrada en DC | |
| Máxima entrada DC | 450.00 |
| Voltaje de arranque | 80.00 |
| Voltaje mínimo de trabajo | 60.00 |
| Rango de voltaje de trabajo | 80-400 |
| Número de entradas | 1 MC4 |
| Máxima corriente de entrada en DC | 9.00 |
| Respaldo de entrada en AC | |
| Voltaje de entrada (Vac) | 220.00 |
| Frecuencia de trabajo (Hz) | 47-63 |
| Entrada AC | L,N, PE |
| Salida de alimentación | |
| Potencia (W) | 750.00 |
| Corriente de trabajo (A) | 5.10 |

Nota. Obtenido del catálogo técnico de variadores de frecuencia para bombeo solar

4.2.7 Selección del módulo fotovoltaico.

Para el suministro de energía al sistema de bombeo se seleccionaron módulos fotovoltaicos, los cuales constituyen el elemento principal de captación de la energía solar. La selección del módulo se realizó considerando criterios técnicos de potencia, eficiencia, compatibilidad eléctrica con el variador de frecuencia y disponibilidad comercial.

En el presente estudio se adoptó el módulo fotovoltaico Jinko Solar modelo JKM325PP-72 (Plus ES), con una potencia nominal de 325 Wp, el cual resulta adecuado para el sistema fotovoltaico propuesto y coherente con la demanda energética del sistema de riego hidropónico.

La selección del módulo fotovoltaico Jinko Solar JKM325PP-72 (Plus ES) se fundamenta en los siguientes criterios técnicos:

- **Tecnología policristalina de alta eficiencia:** El módulo emplea tecnología policristalina optimizada, que ofrece un buen compromiso entre eficiencia, costo y confiabilidad, siendo adecuada para aplicaciones rurales y sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana potencia.
- **Compatibilidad eléctrica con el variador de frecuencia:** Las características eléctricas del módulo permiten su integración con el variador de frecuencia seleccionado, garantizando niveles de tensión y corriente compatibles con el sistema de control del bombeo.
- **Comportamiento térmico adecuado:** El módulo presenta coeficientes de temperatura que favorecen un rendimiento estable frente a las variaciones térmicas propias de la zona de estudio, contribuyendo a una generación energética más confiable.
- **Disponibilidad y respaldo comercial:** El módulo Jinko Solar cuenta con amplia disponibilidad en el mercado, certificaciones internacionales y garantía del fabricante, factores que respaldan su uso en proyectos de energía fotovoltaica.

Los módulos fotovoltaicos seleccionados se integran al sistema híbrido de generación energética, suministrando energía al variador de frecuencia durante el periodo diurno.

Esta configuración permite reducir el consumo de energía proveniente de la red eléctrica y mejorar la eficiencia energética global del sistema de riego hidropónico.

Tabla 17

Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico Jinko Solar JKM325PP-72

| Módulo 325W- STC | | | |
|-------------------------|---------|------------------------------|-------------|
| Vmp (STC) | 37.20 V | Coef. Temp Isc (α) | +0.043 %/°C |
| Imp (STC) | 8.48 A | Coef. Temp Voc (β) | -0.24 %/°C |
| Voc (STC) | 46.2 V | Coef. Temp Ppmp (γ) | -0.30 %/°C |
| Isc (STC) | 9.01 A | TNOM | 45°C |

Nota. Obtenido de (Solar., 2023).

4.2.8 Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

El dimensionamiento del arreglo fotovoltaico se realizó a partir de la potencia del sistema de bombeo y del módulo fotovoltaico seleccionado, aplicando un factor de sobredimensionamiento de 2.3 para asegurar la operación estable del variador solar y compensar pérdidas reales del sistema.

Se adopta un sobredimensionamiento más conservador porque el generador FV debe cubrir no solo la potencia nominal del motor, sino también:

- Pérdidas por temperatura y dispersión del módulo (operación fuera de STC).
- Pérdidas eléctricas (cableado DC).
- Pérdidas por suciedad/ensombrecimientos parciales.
- Pérdidas por conversión y control asociadas al variador.
- Margen para variación de irradiación en meses menos favorables y estabilidad de arranque del sistema (el variador requiere un voltaje mínimo de trabajo y un voltaje de arranque). En el caso del variador INVT, el rango DC de trabajo y el voltaje de arranque están definidos por el fabricante (trabajo 80–400 V; arranque

80 V; máximo 450 V) por lo que disponer de margen en potencia FV mejora la confiabilidad del bombeo.

Tabla 18

Resumen del dimensionamiento del arreglo fotovoltaico (FS = 2.3)

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidad |
|------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|
| Potencia de la bomba | P | 0.5 | HP |
| Potencia equivalente | $P_{real-electrobomba}$ | 373 | W |
| Factor de seguridad adoptado | FS | 2.3 | — |
| Potencia FV requerida | P_{GFV} | 858 | Wp |
| Potencia del módulo | P_{modulo} | 325 | Wp |
| Número de módulos | | 2.64 → 3 | und |
| Potencia FV instalada | PFV | 975 | Wp |
| (V_{mp}) por módulo (STC) | | 37.2 | V |
| (V_{mp}) string (3s) | | 111.6 | V |
| Rango DC variador | | 80–400 | V |

Nota. Elaboración propia

El dimensionamiento con FS = 2.3 entrega una potencia requerida de aproximadamente 858 Wp, por lo que se seleccionan 3 módulos de 325 Wp, alcanzando 975 Wp, lo cual coincide con el arreglo definido en el resumen general del sistema

Este sobredimensionamiento permite asegurar operación estable del sistema ante pérdidas reales (temperatura, suciedad, cableado y conversión), además de mejorar el desempeño durante condiciones solares menos favorables y facilitar el arranque/operación dentro del rango DC exigido por el variador

Asimismo, la verificación de tensión del string confirma compatibilidad eléctrica entre el arreglo FV (3 módulos en serie) y el variador INVT, evitando operar fuera de su ventana de trabajo.

Verificación del dimensionamiento mediante NASTEC Solar Calculator

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos mediante el cálculo analítico del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se realizó una verificación empleando el software NASTEC Solar Calculator, herramienta especializada en el diseño y evaluación de sistemas de bombeo solar.

El software utiliza bases de datos climáticas históricas multianuales y modelos estadísticos para estimar la irradiación solar disponible, el comportamiento térmico de los módulos fotovoltaicos y el desempeño hidráulico–energético del sistema bajo condiciones reales de operación. Es importante señalar que los resultados obtenidos por NASTEC corresponden a simulaciones basadas en promedios de varios años y no a un único año calendario, lo cual permite una evaluación más representativa del recurso solar disponible en la zona de estudio.

De acuerdo con el reporte generado por NASTEC Solar Calculator para la localidad de Puno, Perú, se emplearon como parámetros principales: una altura dinámica total de 7.23 m, un arreglo fotovoltaico compuesto por 3 módulos Jinko Solar de 325 Wp (potencia total instalada de 975 Wp) y las características hidráulicas del sistema definidas en la investigación. Los resultados del software confirman que la configuración adoptada es técnicamente viable y consistente con el dimensionamiento realizado mediante el método analítico, garantizando el suministro energético requerido para la operación del sistema de bombeo.

En este sentido, la coincidencia entre el número de módulos fotovoltaicos obtenido mediante el cálculo analítico y el recomendado por el software NASTEC valida la selección del arreglo fotovoltaico propuesto, evidenciando que el factor de seguridad adoptado permite compensar las pérdidas del sistema y asegurar una operación estable del bombeo solar, (ver Anexo 05).

4.2.9 Configuración eléctrica del sistema de riego

La configuración eléctrica del sistema fotovoltaico se realizó considerando las características del arreglo fotovoltaico dimensionado, el variador de frecuencia seleccionado y la electrobomba del sistema de riego hidropónico. El objetivo de esta configuración es garantizar una operación segura, eficiente y compatible entre los componentes eléctricos del sistema.

El arreglo fotovoltaico está conformado por tres módulos fotovoltaicos de 325 Wp conectados en serie (3S1P), obteniéndose una potencia total instalada de 975 Wp. Esta configuración permite alcanzar niveles de tensión adecuados para el funcionamiento del variador de frecuencia INVT BPD0K7 TN, cumpliendo con su rango operativo de entrada en corriente continua.

La energía generada por el arreglo fotovoltaico es conducida hacia el variador de frecuencia mediante un circuito de corriente continua (DC), el cual incluye los elementos de protección y seccionamiento correspondientes. El variador de frecuencia actúa como interfaz entre el sistema fotovoltaico y el motor eléctrico de la bomba, permitiendo la conversión y regulación de la energía eléctrica para el correcto accionamiento del sistema de bombeo.

Durante el periodo diurno, el sistema prioriza el uso de la energía proveniente del arreglo fotovoltaico, mientras que durante el periodo nocturno o en condiciones de baja radiación solar, el sistema opera con respaldo de la red eléctrica, manteniendo la continuidad del servicio de riego. Esta configuración híbrida permite asegurar el funcionamiento del sistema durante todo el año, reduciendo el consumo energético proveniente de la red convencional.

La disposición eléctrica del sistema, así como la interconexión entre el arreglo fotovoltaico, el variador de frecuencia y la electrobomba, se representa en el diagrama unifilar del sistema de bombeo solar con respaldo de red, el cual se presenta en el anexo 11 de la investigación.

4.2.10 Programación y modo de operación del sistema de riego hidropónico

Durante el periodo diurno el sistema opera en modo continuo durante 8 h/día con bombeo solar directo. Para el periodo nocturno se adoptó un régimen intermitente de 16 h con ciclos de 15 min de operación y 45 min de descanso, equivalente a 4 h de funcionamiento efectivo por noche (25% de ciclo de trabajo). Esta estrategia reduce el consumo energético nocturno y mantiene la circulación mínima de solución nutritiva requerida.

Tabla 19

Modo de operación y programación del sistema de riego hidropónico.

| Periodo de operación | Fuente | Modo de bombeo | Tiempo total | Ciclo de trabajo | Tiempo efectivo de bombeo | Caudal por ingreso |
|--------------------------|--------------------|----------------|--------------|------------------------|---------------------------|---------------------|
| Diurno | Solar fotovoltaica | Continuo | 8 h/día | 100% | 8 h | 1 L/min |
| Nocturno | Red eléctrica | Intermitente | 16 h/día | 15 min ON / 45 min OFF | 4 h equivalentes | 1 L/min (cuando ON) |
| Total diario equivalente | - | - | 24 h | - | 12 h | - |

Nota. Elaboración propia.

Para implementar el régimen nocturno intermitente (15 min ON / 45 min OFF) manteniendo el caudal de 1 L/min por ingreso durante el tiempo de operación, se considera un temporizador/programador horario como elemento de mando simple. Este dispositivo envía la señal de marcha/paro (RUN/STOP) al variador de frecuencia INVT, permitiendo ejecutar la secuencia de funcionamiento nocturno sin necesidad de un sistema de automatización complejo. El variador se encarga del arranque y parada suave mediante rampas, además de las protecciones eléctricas del motor, por lo que la

incorporación del temporizador no modifica el diseño hidráulico ni el dimensionamiento fotovoltaico previamente establecidos.

4.2.11 Cableado de corriente continua (DC) y corriente alterna (AC)

El cableado del sistema fotovoltaico y del sistema de bombeo se seleccionó considerando los niveles de tensión, corriente, condiciones ambientales y criterios de seguridad eléctrica. Para ello, se diferenciaron los circuitos de corriente continua (DC) provenientes del arreglo fotovoltaico y los circuitos de corriente alterna (AC) asociados a la alimentación del motor de la bomba mediante el variador de frecuencia.

Tabla 20

Características eléctricas TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K 1.5/1.5 (1.8) kV DC.

| Tipo | Cable fotovoltaico 4 mm² |
|---------------------------------|--|
| Aislamiento | Goma libre de halógenos (LSHF). |
| Tensión nominal | 1800 Vdc |
| Sección unipolar | 4.00 mm ² en cobre |
| Intensidad admisible permanente | 33 A (En ducto) |
| Diámetro exterior | 4.10 mm² |

Nota. La tabla presenta los parámetros eléctricos y constructivos del cable fotovoltaico de 4 mm² según la ficha técnica del fabricante (Anexo 12).

Tabla 21*Características del conductor NH90 de 2.5 mm²*

| Tipo | Conductor NH 90 |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Aislamiento | Compuesto de PVC |
| Tensión nominal | 0.6/1.00KV |
| Sección unipolar | 2.50 mm ² en cobre |
| Intensidad admisible permanente | 33.00 A (En ducto) |
| Diámetro exterior | 3.60 mm |

Nota. Elaboración propia a partir de datos técnicos normativos (IEC 60228, IEC 60502) y fichas de fabricantes.

La selección del cable TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K para el circuito de corriente continua garantiza un adecuado desempeño del sistema fotovoltaico, ya que este tipo de conductor está diseñado específicamente para aplicaciones solares, soportando condiciones ambientales severas y elevados niveles de tensión en corriente continua. Por su parte, el cable NH-90 en el circuito de corriente alterna asegura una alimentación segura y confiable del motor eléctrico de la bomba, siendo adecuado para instalaciones de baja tensión y cargas inductivas.

El uso de conductores diferenciados para DC y AC contribuye a la seguridad eléctrica del sistema, facilita las labores de mantenimiento y asegura la correcta operación del sistema híbrido de bombeo solar.

4.2.12 Estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos

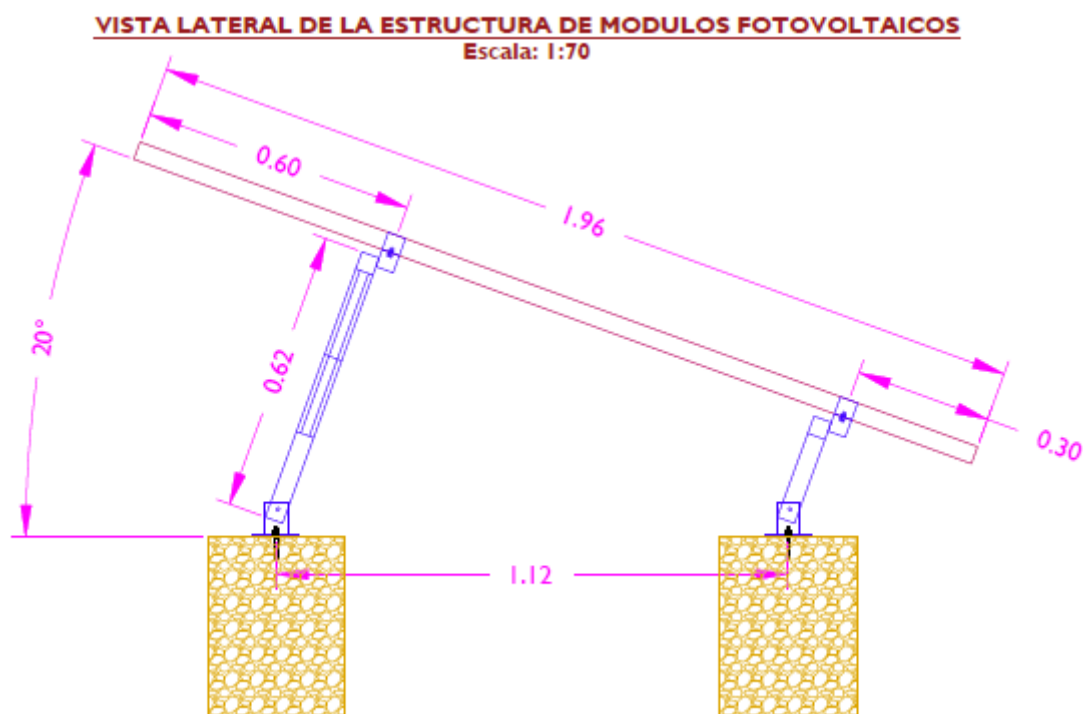
El ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos se definió considerando la latitud de la zona de estudio y criterios de optimización de la captación solar anual. De acuerdo con la norma IEC 62548:2016 - Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements, la inclinación de los arreglos fotovoltaicos fijos debe seleccionarse en función de la ubicación geográfica, el rendimiento energético esperado y las condiciones estructurales del sistema, permitiendo maximizar la producción anual de energía.

Asimismo, las guías técnicas de diseño fotovoltaico establecen que, para sistemas fijos, la inclinación óptima del generador suele aproximarse al valor de la latitud del lugar, pudiendo ajustarse algunos grados adicionales para mejorar el desempeño anual y favorecer la auto limpieza de los módulos. En ese sentido, para la ubicación del proyecto, con una latitud aproximada de 15° S, se adoptó un ángulo de inclinación de 20°, el cual representa un compromiso adecuado entre rendimiento energético anual, estabilidad estructural y condiciones de operación del sistema fotovoltaico.

En la siguiente figura se muestra el diseño de la estructura para los módulos fotovoltaicos.

Figura 16

Estructura para los módulos fotovoltaicos.



Nota. Elaboración propia.

La estructura de soporte del arreglo fotovoltaico corresponde a un sistema fijo inclinado, diseñado para garantizar la estabilidad mecánica, seguridad estructural y adecuada orientación de los módulos fotovoltaicos.

La estructura está conformada por perfiles metálicos anclados a zapatas de concreto, lo que proporciona una base firme frente a cargas de viento y vibraciones. El diseño permite una adecuada ventilación posterior de los módulos, contribuyendo a la disipación térmica y al mantenimiento del rendimiento eléctrico del sistema. Asimismo, las uniones mediante abrazaderas aseguran una correcta fijación de los módulos, facilitando el montaje y mantenimiento.

En conjunto, la estructura diseñada es técnicamente adecuada para el sistema fotovoltaico propuesto, compatible con el arreglo eléctrico y el esquema de conexión del sistema de bombeo solar (ver Anexo 14).

4.2.13 Puesta a tierra del sistema fotovoltaico y de bombeo

El sistema eléctrico del proyecto se diseñó con un sistema de puesta a tierra funcional y de protección, por lo que no se trata de un sistema flotante, sino de un sistema correctamente aterrizado, conforme a los criterios de seguridad eléctrica aplicables a instalaciones fotovoltaicas y sistemas de bombeo.

La puesta a tierra está conformada por una varilla de cobre de 1/2" de diámetro y 2.40 m de longitud, instalada en un pozo de tierra con relleno de material químico mejorador de conductividad, lo que permite reducir la resistencia eléctrica del terreno y asegurar una adecuada disipación de corrientes de falla. La varilla se conecta mediante conector de cobre tipo Anderson al conductor de protección, el cual enlaza las masas metálicas del sistema.

Se encuentran conectados al sistema de puesta a tierra los siguientes elementos:

- Estructura metálica de soporte de los módulos fotovoltaicos.
- Carcasa del variador de frecuencia.
- Carcasa del motor eléctrico de la bomba.

Esta configuración garantiza que, ante una falla de aislamiento o una sobretensión, las corrientes de falla sean derivadas de manera segura hacia tierra, protegiendo tanto a las personas como a los equipos del sistema (ver Anexo 16).

De acuerdo con los criterios normativos comúnmente aceptados para sistemas eléctricos de baja tensión, la resistencia del sistema de puesta a tierra no debe ser mayor a 25 Ω ,

valor que se adopta como límite de diseño en el presente proyecto. El uso de relleno químico y una correcta instalación del electrodo permiten alcanzar valores de resistencia compatibles con dicho requerimiento.

En consecuencia, el sistema de puesta a tierra propuesto cumple una función esencial de protección eléctrica, asegurando la operación segura y confiable del sistema fotovoltaico y del sistema de bombeo solar.

4.2.14 Cuadro resumen del sistema de bombeo solar

Tabla 22

Cuadro resumen de los componentes del sistema de bombeo solar.

| Descripción | Marca/modelo | Capacidad |
|------------------------|-------------------------|------------------|
| Modulo fotovoltaico | Jinko JKM325PP-72(Plus) | 325.00 WP x 3 |
| Variador de frecuencia | INVT BPD0K7 TN | 1.00 HP |
| Electrobomba | Pedrollo PKm60 | 0.50 HP |

Nota. Elaboración propia a partir de las fichas técnicas de Jinko Solar, INVT y Pedrollo.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el Objetivo Específico 2 se ha cumplido de manera satisfactoria, ya que se logró diseñar integralmente el sistema de bombeo solar directo para el invernadero hidropónico, partiendo de la determinación del caudal total requerido y la altura dinámica, hasta la selección final de los equipos y componentes eléctricos. El cálculo hidráulico determinó la necesidad de una electrobomba de 0.50 HP, la cual fue correctamente verificada mediante la curva característica del modelo Pedrollo PKm60, ajustándose a los requerimientos operativos del sistema. Asimismo, se integró un variador de frecuencia solar INVT BPD0K7 TN, cuyas especificaciones de entrada en DC y respaldo en AC garantizan un funcionamiento estable y seguro. De igual modo, se realizó el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico, seleccionando tres módulos Jinko Solar JKM325PP-72(Plus) y validando su operación con datos reales de irradiación del software Nastec Solar Calculator, coherentes con estudios teóricos y bases de datos internacionales. Finalmente, se llevó a cabo la verificación de caídas de tensión, capacidad de corriente,

materiales, protecciones y estructuras, demostrando que el diseño propuesto cumple con las exigencias normativas y operativas, por lo que el sistema queda plenamente definido para garantizar el abastecimiento energético necesario para el riego hidropónico propuesto.

4.3 Evaluación económica mediante VAN, TIR, Payback y análisis CAPEX/OPEX.

4.3.1 Análisis económico

La evaluación económica del sistema de riego hidropónico con energía fotovoltaica se realizó considerando un conjunto de datos técnicos y económicos que permiten estimar de manera realista la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil. Estos datos constituyen la base para el cálculo de los indicadores económicos VAN, TIR y Payback.

Tabla 23

Entradas de datos para la valoración de indicadores económicos

| Concepto | Valor adoptado | Observación técnica |
|-------------------------|----------------|--|
| Horizonte de evaluación | 20 años | Asociado a la vida útil del sistema fotovoltaico |
| Moneda de análisis | S/. (soles) | Moneda nacional |
| Tasa de descuento (r) | 14.83 % anual | Representa el costo de oportunidad del capital |
| Periodicidad | Anual | Flujos consolidados por año |
| Operación del sistema | 360 días/año | Funcionamiento continuo |

Nota. Elaboración propia.

4.3.2 CAPEX – Inversión inicial del proyecto

La inversión inicial del proyecto (CAPEX) corresponde al costo total necesario para la implementación del sistema de riego hidropónico NFT con aplicación de energía fotovoltaica, incluyendo los componentes del sistema hidropónico, el sistema de bombeo solar híbrido, estructuras, sistema hidráulico, transporte e impuestos. El monto total del

CAPEX se obtuvo a partir del presupuesto detallado del proyecto, el cual se presenta en el Anexo 17 de la investigación.

Tabla 24

Inversión inicial total del proyecto (CAPEX)

| Concepto | Monto |
|---------------------------------|--------------|
| Inversión inicial total (CAPEX) | S/ 17,140.01 |

Nota. Elaboración propia.

El valor del CAPEX refleja la inversión necesaria para la implementación integral del proyecto, destacando la inclusión de componentes hidráulicos, eléctricos y fotovoltaicos, así como los costos asociados a instalación y transporte. Este monto constituye la base para la evaluación de la rentabilidad económica del sistema, permitiendo analizar la viabilidad del proyecto mediante los indicadores financieros VAN, TIR y Payback.

4.3.3 OPEX – Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento (OPEX) del sistema corresponden a los egresos anuales necesarios para asegurar el funcionamiento continuo del sistema de riego hidropónico y del sistema de bombeo con energía fotovoltaica. Estos costos incluyen mantenimiento preventivo, reposiciones menores, consumo eléctrico nocturno y gastos operativos asociados.

Los valores de OPEX se estimaron en soles constantes para el horizonte de evaluación del proyecto y se incorporan directamente en el flujo de caja anual.

Tabla 25*Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX)*

| Año | Opex Anual |
|------------|-------------------|
| 1 | -S/ 1,867.98 |
| 2 | -S/ 1,907.92 |
| 3 | -S/ 1,949.25 |
| 4 | -S/ 1,992.03 |
| 5 | -S/ 2,036.31 |
| 6 | -S/ 2,082.14 |
| 7 | -S/ 2,129.57 |
| 8 | -S/ 2,178.66 |
| 9 | -S/ 2,229.48 |
| 10 | -S/ 2,282.06 |
| 11 | -S/ 2,336.50 |
| 12 | -S/ 2,392.83 |
| 13 | -S/ 2,451.14 |
| 14 | -S/ 2,511.48 |
| 15 | -S/ 2,573.94 |
| 16 | -S/ 2,638.59 |
| 17 | -S/ 2,705.50 |
| 18 | -S/ 2,774.75 |
| 19 | -S/ 2,846.42 |
| 20 | -S/ 2,920.61 |

Nota. Elaboración propia.

Los costos de operación y mantenimiento presentan una variación gradual a lo largo del horizonte de evaluación, manteniéndose en valores relativamente bajos en relación con la inversión inicial del proyecto. Esto evidencia que el sistema de riego hidropónico con bombeo solar presenta bajos costos operativos, lo cual favorece la rentabilidad económica del proyecto y mejora los indicadores financieros evaluados en los ítems posteriores

4.3.4 Producción e ingresos por venta de hortalizas

La estimación de los ingresos del proyecto se realizó a partir de la producción anual teórica de las hortalizas cultivadas en el sistema hidropónico NFT y su valorización económica según los precios de venta considerados. Estos ingresos constituyen uno de los principales beneficios económicos del proyecto y se incorporan directamente en el flujo de caja anual.

Tabla 26

Producción anual e ingresos por venta de hortalizas

| Hortaliza | Producción por año | Und | Valorizado |
|-----------|--------------------|-----|-------------|
| Cilantro | 144 | Kg | S/ 2,149.20 |
| Espinaca | 84 | Kg | S/ 1,108.80 |
| Lechuga | 224 | Kg | S/ 1,506.96 |
| Total | | | S/ 4,764.96 |

Nota. Los ingresos corresponden a la valorización anual de la producción teórica del sistema hidropónico, expresados en soles.

La producción anual estimada no representa un valor garantizado, sino una proyección técnica basada en condiciones de diseño controladas del sistema hidropónico NFT. La estimación se sustenta en el uso de un sistema de cultivo bajo invernadero, que permite reducir la variabilidad climática; en el suministro continuo, controlado de agua y nutrientes, en la operación del sistema de riego mediante bombeo fotovoltaico durante el día y riego intermitente nocturno, asegurando la disponibilidad hídrica para las plantas. Asimismo, los ciclos productivos considerados corresponden a valores teóricos reportados para cultivos hidropónicos de lechuga, espinaca y cilantro bajo condiciones

similares, lo que permite establecer una base técnica razonable para la proyección de la producción anual utilizada en el análisis económico.

Los ingresos anuales generados por la venta de hortalizas ascienden a S/ 4,764.96, destacando al cilantro como el cultivo de mayor aporte económico, seguido por la lechuga y la espinaca. Estos ingresos, en conjunto con el ahorro energético obtenido por el uso de energía fotovoltaica, constituyen la base para la evaluación de la rentabilidad económica del proyecto mediante los indicadores financieros VAN, TIR y Payback.

4.3.5 Ahorro energético anual del sistema fotovoltaico

El ahorro energético del proyecto se determinó a partir de la energía eléctrica que el sistema de bombeo deja de consumir de la red durante el periodo diurno, al operar con energía fotovoltaica. Este beneficio económico se valorizó anualmente considerando un incremento del 3.5 %, asociado a la variación progresiva del costo de la energía eléctrica a lo largo del horizonte de evaluación.

Tabla 27*Ahorro energético anual valorizado*

| AÑO | INGRESO POR AHORRO ENERGIA |
|------------|-----------------------------------|
| 1 | S/ 1,046.84 |
| 2 | S/ 1,083.48 |
| 3 | S/ 1,121.40 |
| 4 | S/ 1,160.65 |
| 5 | S/ 1,201.27 |
| 6 | S/ 1,243.32 |
| 7 | S/ 1,286.83 |
| 8 | S/ 1,331.87 |
| 9 | S/ 1,378.49 |
| 10 | S/ 1,426.74 |
| 11 | S/ 1,476.67 |
| 12 | S/ 1,528.36 |
| 13 | S/ 1,581.85 |
| 14 | S/ 1,637.21 |
| 15 | S/ 1,694.52 |
| 16 | S/ 1,753.82 |
| 17 | S/ 1,815.21 |
| 18 | S/ 1,878.74 |
| 19 | S/ 1,944.50 |
| 20 | S/ 2,012.55 |

Nota. Los valores corresponden al ahorro anual por sustitución de energía de red mediante el uso de energía fotovoltaica.

El ahorro energético anual presenta una tendencia creciente a lo largo del horizonte de evaluación, lo que refleja el impacto positivo del sistema fotovoltaico frente al incremento progresivo del costo de la energía eléctrica. Este ahorro constituye un componente relevante dentro de los beneficios económicos del proyecto y, junto con los ingresos por venta de hortalizas, fortalece la viabilidad financiera del sistema evaluado.

4.3.6 Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja del proyecto se determinó considerando los ingresos totales anuales, conformados por la suma de los ingresos por venta de hortalizas y el ahorro energético generado por el sistema fotovoltaico, así como los egresos anuales, correspondientes a los costos de operación y mantenimiento del sistema. La diferencia entre ambos componentes permitió obtener el flujo de caja anual, el cual constituye la base para el cálculo de los indicadores financieros VAN, TIR y Payback.

Tabla 28*Flujo de caja anual del proyecto*

| Año | Ingreso total | Egresos | Flujo de caja |
|------------|----------------------|----------------|----------------------|
| 1 | S/ 5,811.80 | -S/ 1,867.98 | S/ 3,943.82 |
| 2 | S/ 5,848.44 | -S/ 1,907.92 | S/ 3,940.52 |
| 3 | S/ 5,886.36 | -S/ 1,949.25 | S/ 3,937.11 |
| 4 | S/ 5,925.61 | -S/ 1,992.03 | S/ 3,933.58 |
| 5 | S/ 5,966.23 | -S/ 2,036.31 | S/ 3,929.92 |
| 6 | S/ 6,008.28 | -S/ 2,082.14 | S/ 3,926.14 |
| 7 | S/ 6,051.79 | -S/ 2,129.57 | S/ 3,922.22 |
| 8 | S/ 6,096.83 | -S/ 2,178.66 | S/ 3,918.17 |
| 9 | S/ 6,143.45 | -S/ 2,229.48 | S/ 3,913.97 |
| 10 | S/ 6,191.70 | -S/ 2,282.06 | S/ 3,909.63 |
| 11 | S/ 6,241.63 | -S/ 2,336.50 | S/ 3,905.14 |
| 12 | S/ 6,293.32 | -S/ 2,392.83 | S/ 3,900.49 |
| 13 | S/ 6,346.81 | -S/ 2,451.14 | S/ 3,895.67 |
| 14 | S/ 6,402.17 | -S/ 2,511.48 | S/ 3,890.69 |
| 15 | S/ 6,459.48 | -S/ 2,573.94 | S/ 3,885.53 |
| 16 | S/ 6,518.78 | -S/ 2,638.59 | S/ 3,880.19 |
| 17 | S/ 6,580.17 | -S/ 2,705.50 | S/ 3,874.67 |
| 18 | S/ 6,643.70 | -S/ 2,774.75 | S/ 3,868.95 |
| 19 | S/ 6,709.46 | -S/ 2,846.42 | S/ 3,863.03 |
| 20 | S/ 6,777.51 | -S/ 2,920.61 | S/ 3,856.91 |

Nota. Elaboración propia

El flujo de caja anual del proyecto se mantiene positivo y relativamente estable a lo largo del horizonte de evaluación, lo que evidencia que los ingresos generados por la producción de hortalizas y el ahorro energético superan consistentemente a los costos de operación y mantenimiento. Este comportamiento constituye una base sólida para la evaluación de la rentabilidad del proyecto mediante los indicadores VAN, TIR y Payback.

4.3.7 Proyección del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto

Con la finalidad de visualizar la evolución económica del proyecto a lo largo de su vida útil, se presenta la proyección del Valor Actual Neto (VAN) para un horizonte de evaluación de 20 años. Esta proyección se construyó a partir de los flujos de caja anuales descontados a la tasa de descuento establecida, permitiendo identificar el comportamiento acumulado del VAN y el momento en el cual el proyecto recupera y supera la inversión inicial.

Tabla 29*Proyección del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto (20 años)*

| Año | Flujo de caja (S/.) | Factor descuento (14.83%) | Flujo actualizado (S/.) | VAN acumulado (S/.) |
|------------|--------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|
| 0 | -18,697.16 | 1 | -18,697.16 | -18,697.16 |
| 1 | 3,943.82 | 0.8709 | 3,434.49 | -15,262.67 |
| 2 | 3,940.52 | 0.7584 | 2,988.43 | -12,274.25 |
| 3 | 3,937.11 | 0.6604 | 2,600.23 | -9,674.02 |
| 4 | 3,933.58 | 0.5751 | 2,262.39 | -7,411.63 |
| 5 | 3,929.92 | 0.5009 | 1,968.46 | -5,443.17 |
| 6 | 3,926.14 | 0.4369 | 1,715.27 | -3,727.90 |
| 7 | 3,922.22 | 0.3807 | 1,493.46 | -2,234.44 |
| 8 | 3,918.17 | 0.3318 | 1,300.07 | -934.37 |
| 9 | 3,913.97 | 0.2892 | 1,132.15 | 197.78 |
| 10 | 3,909.63 | 0.252 | 985.39 | 1,183.17 |
| 11 | 3,905.14 | 0.2196 | 857.67 | 2,040.84 |
| 12 | 3,900.49 | 0.1914 | 746.54 | 2,787.38 |
| 13 | 3,895.67 | 0.1669 | 649.57 | 3,436.95 |
| 14 | 3,890.69 | 0.1455 | 564.73 | 4,001.68 |
| 15 | 3,885.53 | 0.1269 | 490.85 | 4,492.53 |
| 16 | 3,880.19 | 0.1094 | 424.59 | 4,917.12 |
| 17 | 3,874.67 | 0.0953 | 369.23 | 5,286.35 |
| 18 | 3,868.95 | 0.083 | 321.07 | 5,607.42 |
| 19 | 3,863.03 | 0.0723 | 279.17 | 5,886.60 |
| 20 | 3,856.91 | 0.0629 | 242.73 | 6,090.61 |

Nota. Elaboración propia.

La inversión inicial real del proyecto asciende a S/ 17,140.01. No obstante, para la evaluación financiera se consideró una inversión inicial efectiva de S/ 18,697.16, la cual incluye el costo financiero del préstamo bancario de S/ 10,500.00 aplicado a una tasa de interés anual del 14.83 %. Este enfoque permite reflejar de manera realista el desembolso inicial del proyecto bajo condiciones de financiamiento.

4.3.8 Evaluación económica bajo distintos escenarios de financiamiento

Con el fin de analizar la sensibilidad económica del proyecto frente a distintas condiciones de financiamiento, se evaluaron tres escenarios de crédito que difieren en el monto del préstamo y la Tasa Efectiva Anual (TEA). Esta comparación permite identificar el impacto del costo del capital sobre los indicadores de rentabilidad del sistema de riego hidropónico con energía fotovoltaica.

Escenario 01.

Correspondiente al escenario base de la investigación, se consideró un préstamo de S/ 10,500 con una TEA del 14.83 %. Bajo estas condiciones, el proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 6,090.61, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 18.69 %, superior a la tasa de descuento, una relación Beneficio/Costo (B/C) de 1.33 y un período de recuperación de la inversión de 4.75 años. Estos resultados evidencian que el proyecto es económicamente viable y rentable, justificando su implementación bajo las condiciones financieras reales planteadas para la investigación.

Tabla 30

Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 01

| Indicador Económico | Unidad | Valor |
|---|---------------|--------------|
| Valor Actual Neto (VAN) | S/. | S/ 6,090.61 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | % | 18.69 |
| Relación Beneficio Costo | B/C | 1.33 |
| Periodo de recuperación de la inversión | años | 4.75 |

Nota. Elaboración propia

Escenario 02.

Se evalúa un escenario alternativo con un préstamo menor de S/ 4,000 y una TEA reducida del 12.99 %, lo que genera una mejora significativa en los indicadores económicos. En este caso, el VAN alcanza S/ 9,902.60, la TIR se incrementa a 20.23 %, la relación B/C aumenta a 1.56 y el período de recuperación se reduce a 4.48 años. Estos resultados

demuestran que una menor dependencia del financiamiento externo y una tasa de interés más baja favorecen notablemente la rentabilidad del proyecto, al disminuir el costo financiero asociado.

Tabla 31

Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 02

| Indicador Económico | Unidad | Valor |
|---|---------------|--------------|
| Valor Actual Neto (VAN) | S/. | S/ 9,902.60 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | % | 20.23 |
| Relación Beneficio Costo | B/C | 1.56 |
| Periodo de recuperación de la inversión | años | 4.48 |

Nota. Elaboración propia

Escenario 03.

Representa un escenario menos favorable, considerando un préstamo mayor de S/ 17,200 con una TEA del 15.47 %. En este contexto, los indicadores económicos muestran una disminución relativa, obteniéndose un VAN de S/ 4,141.98, una TIR de 17.19 %, una relación B/C de 1.21 y un período de recuperación de 5.03 años. A pesar de ello, los indicadores continúan siendo positivos, lo que indica que el proyecto mantiene su viabilidad económica incluso bajo condiciones financieras más exigentes, aunque con una menor eficiencia económica.

Tabla 32*Indicadores económicos del sistema de bombeo solar escenario 03*

| Indicador Económico | Unidad | Valor |
|---|---------------|--------------|
| Valor Actual Neto (VAN) | S/. | S/ 4,141.98 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | % | 17.19 |
| Relación Beneficio Costo | B/C | 1.21 |
| Periodo de recuperación de la inversión | años | 5.03 |

Nota. Elaboración propia

Con base en la evaluación económica realizada, se determinó la rentabilidad del sistema de riego hidropónico con aplicación de energía fotovoltaica mediante los indicadores financieros Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperación de la Inversión (PRI) y Relación Beneficio/Costo (B/C), considerando un horizonte de evaluación de 20 años y valores expresados en soles constantes. Los resultados obtenidos para el escenario base de la investigación, correspondiente a un financiamiento de S/ 10,500 con una tasa efectiva anual del 14.83 %, evidencian que el proyecto es económicamente viable, al presentar un VAN positivo, una TIR superior a la tasa de descuento, una relación B/C mayor a la unidad y un período de recuperación de la inversión inferior a cinco años. Asimismo, el análisis de escenarios alternativos de financiamiento permitió comprobar que el proyecto mantiene su viabilidad económica ante variaciones en el monto del préstamo y la tasa de interés, demostrando la solidez financiera del sistema propuesto. En consecuencia, se concluye que la implementación del sistema resulta rentable desde el punto de vista económico, sustentándose en los ingresos por venta de hortalizas y el ahorro energético generado por el uso de energía fotovoltaica.

4.4 Discusión general de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la comunidad campesina de Cieneguilla presenta un recurso solar favorable y estable a lo largo del año, lo que permite el diseño y operación eficiente de un sistema de riego hidropónico alimentado con energía fotovoltaica. La determinación de la irradiación mediante fuentes especializadas y software técnico permitió reducir la incertidumbre asociada a cálculos teóricos, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados empleados en el dimensionamiento del sistema.

Asimismo, el diseño hidráulico del sistema NFT demostró ser técnicamente viable para los cultivos seleccionados, asegurando un suministro adecuado de caudal y condiciones operativas compatibles con la producción hidropónica en invernadero. Estos resultados concuerdan con enfoques reportados en investigaciones previas, donde se destaca la eficiencia del riego hidropónico frente a sistemas convencionales, especialmente en zonas con limitaciones hídricas y climáticas.

Desde el punto de vista energético y económico, los indicadores financieros obtenidos reflejan que la incorporación de energía fotovoltaica contribuye significativamente a la reducción de costos operativos, mejorando la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil. En conjunto, los resultados confirman que la integración de tecnologías renovables en sistemas agrícolas sostenibles constituye una alternativa técnica y económicamente viable para contextos rurales altoandinos, como el área de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La evaluación económica del proyecto, considerando un horizonte de 20 años y una tasa de descuento del 14.83 %, demuestra su rentabilidad al obtener un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 6,090.61, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 18.69 %, una relación Beneficio/Costo de 1.33 y un período de recuperación de la inversión de 4.75 años, sustentados en los ingresos por la producción anual de hortalizas y en el ahorro energético generado por el uso de energía fotovoltaica.

Se determinó que la comunidad de Cieneguilla presenta un recurso solar favorable para aplicaciones fotovoltaicas, con un valor promedio anual de irradiación diaria de 6.34 kWh/m²·día, obtenido a partir del Nastec Solar Calculator, valor que confirma la disponibilidad suficiente y estable de energía solar para el funcionamiento del sistema de bombeo durante todo el año.

El sistema de riego hidropónico tipo NFT diseñado, compuesto por 100 canales de 3 m de longitud, 14 orificios por canal, un caudal unitario de 1 L/min por ingreso y un caudal total de 20 L/min, cumple con los requerimientos hidráulicos y operativos del cultivo. El sistema de bombeo seleccionado, conformado por una bomba Pedrollo PKM60 de 0.5 HP, una altura dinámica total de 7.23 m y un arreglo fotovoltaico de 975 Wp, garantiza una operación eficiente y segura, complementada por un sistema híbrido que utiliza energía fotovoltaica durante el día y energía de red durante la noche.

La evaluación económica del proyecto, considerando un horizonte de 20 años y una tasa de descuento del 14.83 %, demuestra su rentabilidad al obtener un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 6,090.61, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 18.69 %, una relación Beneficio/Costo de 1.33 y un período de recuperación de la inversión de 4.75 años, sustentados en los ingresos por la producción anual de hortalizas y en el ahorro energético generado por el uso de energía fotovoltaica.

5.2 Recomendaciones

Presentar este proyecto técnico a las autoridades competentes con el fin de obtener financiación para el desarrollo del sistema fotovoltaico y, por lo tanto, ampliar el número de invernaderos en la zona de Puno, que necesita de servicios básicos como electricidad y agua.

Efectuar un mantenimiento periódico de los módulos fotovoltaicos tras la instalación de los sistemas, con el fin de evitar que se acumule suciedad en la superficie y se reduzca su vida útil y rendimiento.

Capacitar al personal encargado del sistema en operación básica, mantenimiento y seguridad eléctrica, especialmente en manipulación de corriente continua, uso del variador INVT y protocolos ante fallas eléctricas o hidráulicas, para asegurar la continuidad del sistema.

Se recomienda a los futuros investigadores a buscar otros enfoques para desarrollar nuevos sistemas de almacenamiento de agua y energía eléctrica. Los sistemas de riego automatizados deben mejorarse aún más mediante estudios para integrar adecuadamente la generación dispersa y aprovechar mejor la energía solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AR. (2025). Alternativas Renovables. Obtenido de <https://alternativasrenovables.com>
- Arhuire, I., & Hanco, L. (2020). *Caracterización de la radiación solar en Puno para el diseño de un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arizaca, A. (2022). Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla. *Universidad Nacional del Altiplano*, 1 - 11.
- Baca Urbina, G. (2021). *Evaluación de proyectos de inversión (10th ed.)*. McGraw-Hill. Obtenido de <https://mhebooklibrary.com>
- Barbosa, G. (2021). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional farming. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106363>
- Bermeo, E., & Silva, A. (2022). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado Puerto Tamborapa, distrito Chirinos - San Ignacio. *Universidad Nacional del Jaén*, 1 - 11. Obtenido de <http://repositorio.unj.edu.pe>
- Blumthaler, M. (2020). Solar radiation and global irradiance fundamentals. <https://doi.org/10.3390/atmos11020114>
- Cabrera, C. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar fotovoltaica para suministrar agua potable a la población de Maynas – Perú*. Maynas: UNAC.
- Caicedo, S. (2019). *Estudio técnico de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la Universidad Piloto de Colombia como caso de estudio*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Cepeda, C., & Jiménez, D. (2021). *Diseño de Sistema Inteligente de Control para cultivo Hidropónico de Lechuga Crespa (Lactuca Sativa var. Crispa)*. Guayaquil: Escuela superior Politécnica de Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec>

- Cerdan, A. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México*. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.
- Cerna, L. (2021). *Diseño del Sistema de Bombeo con Energía Sustentable Para Abastecer Agua de Riego al Anexo Chakiqpampa – Vinchos – Huamanga – Ayacucho*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe>
- Chandel, S., & Naik, M. (2015). *Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews - ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Chozo, C. (2019). *Diseño de sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al sistema de bombeo del fundo El Ciruelo caserío la Pintada-Túcume*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Cordero, M. (2021). *determinación de la eficiencia de la técnica de riego solar en la producción de lechuga (Lactuca sativa) en agricultura urbana*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec>
- Davalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaen – Cajamarca*. Jaen: Universidad Nacional de Jaén.
- Davila, C. (2022). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas*. Bagua Grande: Universidad Politecnica Amazónica. Obtenido de <https://repositorio.upa.edu.pe>
- Davila, C. (2022). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas*. Bagua Grande: Universidad Politecnica Amazónica.
- Díaz, V. (2018). *Análisis de las condiciones energética y operativa de la estación de bombeo de Navarro de aguas residuales para la elaboración de un modelo de gestión energético*. Vitela: Universidad de Vitela.

- FAO. (2022). Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En O. d. Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje.
- Flores, J. (2018). *Estudio de factibilidad de uso de energía fotovoltaica para abastecer de agua potable al caserío Túpac Amaru, Olmos, 2018*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Franco, D. (2022). *Diseño e implementación de un sistema electrónico para cultivo hidropónico autónomo utilizando energía solar*. Tulua: Unidad Central del Valle. Obtenido de <https://repositorio.uceva.edu.co>
- Gruda, N. (2021). Increasing sustainability of modern greenhouse systems. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080254>
- Gualancañay, D., & Jaguaco, H. (2017). *Diseño de un sistema de bombeo para almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chan Chico y Riobamba de la parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Heredia, C., & Sánchez, D. (2017). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico por goteo automatizado para terrenos de cultivo de espárragos del fundo inca verde en el sector pampas la Sandia provincia de Chepén - departamento de la Libertad*. Pimentel: Universidad señor de Sipán.
- Herrera, R., & Vera, J. (2020). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro Poblado Roblepampa, Utcubamba – Amazonas*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén.
- Hospital, K., & González, L. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Huld, T. (2023). Modelling solar irradiance and irradiation for PV applications. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.008>
- IRENA. (2022). Renewable Power Generation Costs in 2022. Obtenido de <https://www.irena.org/publications>
- ISO. (2020). Solar energy — Vocabulary (ISO/IEC 9488:2020). International Organization for Standardization. <https://doi.org/10.3403/30484444u>

- ISO, S. I. (2022). ISO 9488:2022 – Solar energy. 31.
- Jambo, P. (2021). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para suministrar agua subterránea a cultivos en el CPM Boro, Pomalca - Chiclayo*. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe>
- Jara, H. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupe – La Libertad*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe>
- Jara, H. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupe – La Libertad*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Jiménez, R. (2021). *Estudio y diseño de una instalación solar fotovoltaica para el bombeo de agua para riego de 14 hectáreas para viñedo en el fundo “El Cortijo” - Chile*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lee, S. H. (2022). Aeroponics and nutrient-film technique (NFT) systems for efficient indoor crop production. <https://doi.org/10.5940/jcea.2022.1.2.45>
- Llanca, W. (2021). *Diseño de un sistema hidráulico de extracción de agua salobre de pozo profundo para satisfacer la demanda de planta de tratamiento de agua para la empresa*. Callao: Universidad nacional del Callao.
- López, P. (2021). *Implementación de un sistema de riego automático en un cultivo de frutilla (fragaria vesca) semi-hidropónico del tipo NFT bajo invernadero basado en el sistema difuso tipo takagi – sugeno en el sector de la parroquia de Quiroga Cantón Cotacachi*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec>
- Mamani, W., & Cuba, D. (2019). *Bases teóricas para operatividad del sistema de bombeo de abastecimiento de agua potable con suministro de energía fotovoltaica en Collana-Taraco-Huancane-Puno-2019*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- Mejía, E. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. *Revista Científica Pakamuros*, 73 - 88.

- Méndez, P., & Cornejo, O. (2022). Financial performance metrics in agricultural investment projects. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.001>
- Meneses, D. (2013). *Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y proyecto de mejoramiento en la Población de Nanegal, Cantón Quito, Provincia de Pichincha*. Quito: Universidad Internacional de Ecuador.
- Munive, S., & Pereira, J. (2022). Diseño de un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego en un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia. *Universidad Antonio Nariño*, 1 - 11. Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co>
- Palomino, E. (2016). “*Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa*”. 2016: universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Pedraza, C. (2020). *Proyecto de riego utilizando energía solar para el cultivo de limones en la finca contador del municipio de Viani*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Quispe, M. H. (2023). Evaluación de sistemas hidropónicos para la producción de hortalizas en zonas altoandinas. Obtenido de <https://revistas.uandina.edu.pe>
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (8th ed.)*. <https://doi.org/10.1201/9781003242013>
- Rodríguez, L., & Morales, K. (2022). Evaluación económica aplicada a proyectos de desarrollo rural. 77 - 91. Obtenido de <https://rler.org/2022-v11-n2/77>
- Rondan, E. (2016). *Diseño de un sistema de riego para el cultivo de alfalfa en la localidad de Cotaparaco, provincia de Recuay, región Áncash*. Áncash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- SENAMHI. (2021). Atlas de Radiación Solar del Perú. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe>
- Solar., J. (2023). *Datasheet – Módulo JKM325PP-72(Plus)*. Jinko Solar Co. Obtenido de <https://www.jinkosolar.com>

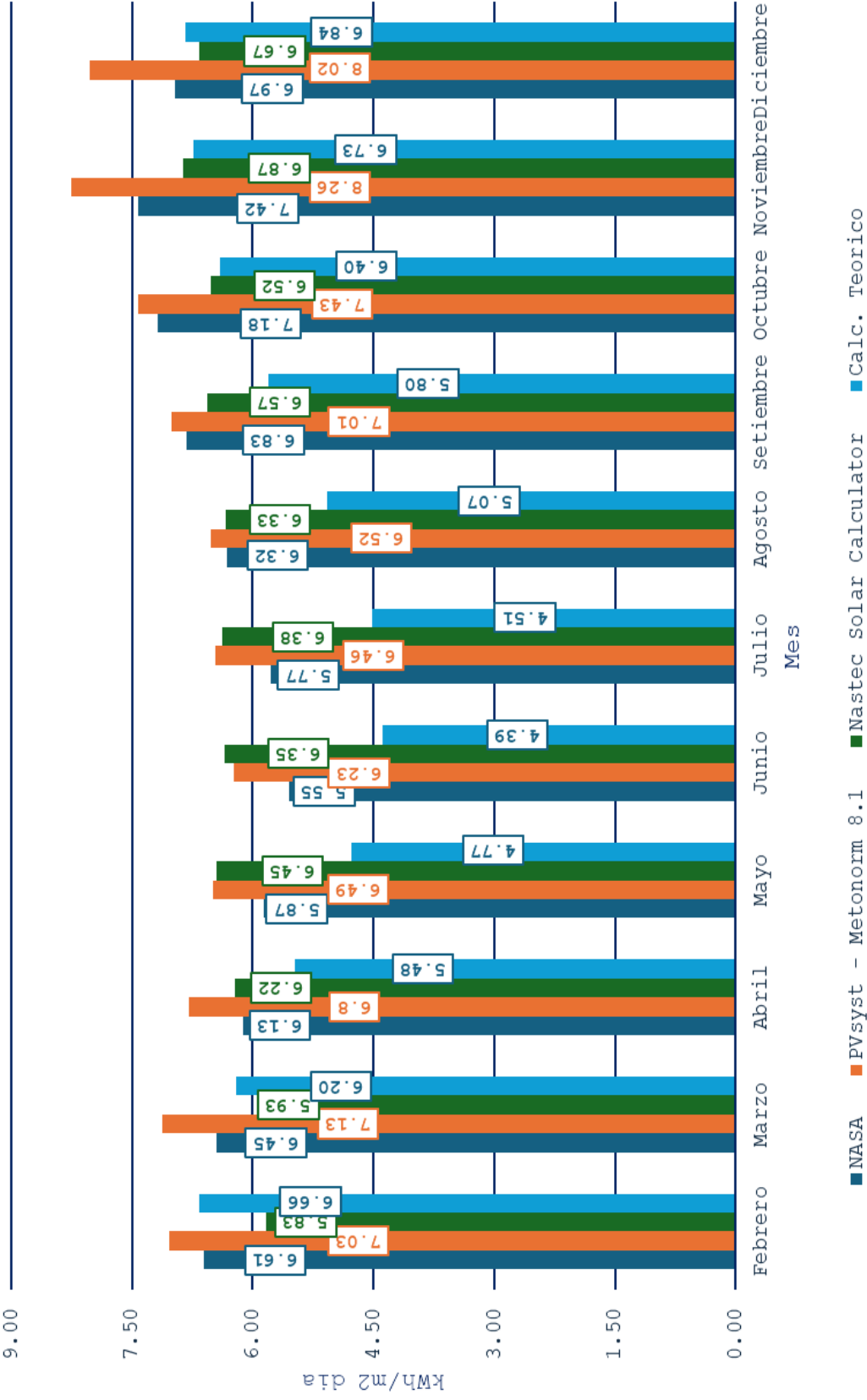
- Tarquino, R. (2018). *Evaluación agronómica de la producción vertical del cultivo hidropónico de frutilla (fragaria sp.) con dos densidades en carpa solar en el centro experimental de Cota – Cota*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo>
- Trillo, F. (2019). *Bombeo mediante energía solar fotovoltaica para riego de Olivar*. Jaen: Universidad de Jaen.
- Valenzuela, B. (2020). *Determinación del punto de máxima potencia en sistemas de bombeo solar fotovoltaico utilizando el algoritmo perturbación observación P&O*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Valero, W. (2018). *Diseño y cálculo de un sistema fotovoltaico para riego con agua subterránea en el distrito de caminaca provincia de azángaro - puno*. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquéz. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe>
- Vargas, B. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo de agua subterránea con energía solar fotovoltaica para riego en la comunidad de Valencia*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Vilca, J. (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: Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe>
- Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China. . *En Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1 - 9.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia de la investigación

| <u>PROBLEMA</u> | <u>OBJETIVO</u> | <u>HIPÓTESIS</u> | <u>VARIABLES</u> | <u>DIMENSIONES</u> | <u>INDICADOR</u> | <u>UNIDAD DE MEDIDA</u> | <u>METODOLOGIA</u> |
|---|--|---|--|--|---|--|--|
| General ¿Será rentable el diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024? | General Determinar la rentabilidad del diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024. | Hipótesis Alternativa El diseño y posterior implementación de un sistema de riego para cultivos hidropónicos, será rentable mediante la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana, 2024. | Independiente Energía fotovoltaica | Radiación solar existente Dimensionamiento de los módulos solares fotovoltaicos | Radiación solar directa Radiación solar difusa Angulo de inclinación Tensión nominal Inversor Cantidad de paneles solares Paneles en serie y paralelo Potencia fotovoltaica Diseño en software Excel Diseño en software Civil 3D | Wh/m ² Wh/m ² Wh/m ² ° Wp Wp Und Und Wp Global Global | Tipo de investigación Descriptivo - Explicativo Diseño de investigación No experimental |
| Específicas ¿Cuanto será la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla? | Específicas Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla. | Hipótesis Nula La radiación solar existente en la comunidad campesina Cieneguilla fluctúa entre 4.5 y 7 KWh/m ² día | Dependiente | Diseño del sistema de riego hidropónico con la aplicación de energía fotovoltaica | Demanda de agua requerida | m ³ | |
| Específicas ¿Cómo será el diseño del sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica? | Específicas Diseñar el sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica. | Hipótesis Nula El sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad Cieneguilla, Cabana será en base al requerimiento hídrico de los cultivos. | Diseño de un sistema de riego para cultivos hidropónicos | Determinación de los indicadores VAN, TIR, PAYBACK, Capex y Opex | Caudal requerido para el sistema Diámetro de la tubería de impulsión Diámetro de la tubería de succión Potencia de la bomba Altura hidrodinámica total Volumen del tanque de almacenamiento Diámetro de la red de distribución | m ³ /s Pulg. Pulg. hp m m ³ Pulg. | |
| Específicas ¿Será rentable económicamente el sistema de riego en base a los indicadores del VAN, TIR, PAYBACK, CAPEX Y OPEX? | Específicas Evaluar la rentabilidad económica del sistema de riego en base a los indicadores del VAN, TIR, PAYBACK, Capex y Opex | Hipótesis Nula El sistema de riego para cultivos hidropónicos con la aplicación de energía fotovoltaica es rentable económicamente en base a los indicadores VAN, TIR, PAYBACK, Capex y Opex. | | | | | |

Anexo 2 Cuadro comparativo de irradiación solar obtenido mediante diferentes fuentes



Anexo 3 Resultados de irradiación solar anual obtenidos con SolarGIS

unnamed road, Cabana, Puno, Perú

-15.623589°, -070.271839°
unnamed road, Cabana, Puno, Perú

ABRIR

| | |
|-----------|-----------------------|
| ELE | 3880 m |
| SLO | 2 ° |
| AZI | casi plano |
| LANDC | Hierba |
| POPUL | 20 hab./km² |
| PVOUT csi | 5.656 kWh/kWp por día |
| GHI | 6.642 kWh/m² por día |
| DNI | 7.420 kWh/m² por día |
| DIF | 1.728 kWh/m² por día |
| D2G | 0.258 |
| GTI opta | 6.996 kWh/m² por día |
| OPTA | 20 / 0 ° |
| TEMP | 8.3 °C |
| CDD | 1 Grados día |
| HDD | 3541 Grados día |

Anexo 4 *Resultados de irradiación solar obtenidos mediante simulación en PVSyst*

El presente anexo comprende diez (10) hojas correspondientes al reporte completo de simulación de irradiación solar generado en el software PVSyst, las cuales incluyen datos mensuales, promedios anuales y parámetros de configuración utilizados para la evaluación del recurso solar en la zona de estudio.



Versión 7.4.8

PVSyst - Informe de simulación

Sistema conectado a la red

Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

Cobertizos en un edificio

Potencia del sistema: 975 Wp

Hacienda Cieneguilla - Peru

| Autor(a)



Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Resumen del proyecto

| | | |
|---|---|--|
| Sitio geográfico Hacienda Cieneguilla Peru | Situación Latitud -15.62 °S Longitud -70.27 °W Altitud 3879 m Zona horaria UTC-5 | Configuración del proyecto Albedo 0.20 |
| Datos meteo Hacienda Cieneguilla Meteonorm 8.1 (2010-2017), Sat=100% - Sintético | | |

Resumen del sistema

| | | |
|--|--|---|
| Sistema conectado a la red Simulación para el año nº 1 | Cobertizos en un edificio | |
| Orientación campo FV Plano fijo Inclinación/Azimut 20 / 0 ° | Sombreados cercanos Según las cadenas : Lento (simul.) Efecto eléctrico 100 % | Necesidades del usuario Carga ilimitada (red) |
| Información del sistema Generador FV Núm. de módulos 3 unidades Pnom total 975 Wp | Inversores Núm. de unidades 1 unidad Pnom total 1000 W Proporción Pnom 0.975 | |

Resumen de resultados

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Energía producida 2171.14 kWh/año | Producción específica 2227 kWh/kWp/año | Proporción rend. PR 81.88 % |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen de proyectos y resultados | 2 |
| Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema. | 3 |
| Definición del horizonte | 4 |
| Definición del sombreado cercano - Diagrama de iso-sombreados | 5 |
| Resultados principales | 6 |
| Diagrama de pérdida | 7 |
| Gráficos predefinidos | 8 |
| Evaluación P50 - P90 | 9 |
| Diagrama unifilar | 10 |



Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Parámetros generales

| | | | | | |
|--|--|---|--|---|--|
| Sistema conectado a la red | | Cobertizos en un edificio | | Modelos usados | |
| Orientación campo FV | | Configuración de cobertizos | | Transposición Perez | |
| Orientación | | | | Difuso Perez, Meteorom | |
| Plano fijo | | | | Circunsolar separado | |
| Inclinación/Azimut 20 / 0 ° | | | | | |
| Horizonte | | Sombreados cercanos | | Necesidades del usuario | |
| Altura promedio 2.2 ° | | Según las cadenas : Lento (simul.) | | Carga ilimitada (red) | |
| | | Efecto eléctrico 100 % | | | |

Características del generador FV

| | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Módulo FV | | Inversor | |
| Fabricante | Jinkosolar | Fabricante | INVT Solar technology |
| Modelo | JKM 325PP-72 (Plus)-V | Modelo | MG1KTL (1kw) |
| (Base de datos PVsyst original) | | (Base de datos PVsyst original) | |
| Unidad Nom. Potencia | 325 Wp | Unidad Nom. Potencia | 1.00 kWca |
| Número de módulos FV | 3 unidades | Número de inversores | 1 unidad |
| Nominal (STC) | 975 Wp | Potencia total | 1.0 kWca |
| Módulos | 1 cadenas x 3 En serie | Voltaje de funcionamiento | 80-400 V |
| En cond. de funcionam. (50°C) | | Proporción Pnom (CC:CA) | |
| Pmpp | 883 Wp | 0.98 | |
| U mpp | 103 V | | |
| I mpp | 8.6 A | | |
| Potencia FV total | | Potencia total del inversor | |
| Nominal (STC) | 0.975 kWp | Potencia total | 1 kWca |
| Total | 3 módulos | Número de inversores | 1 unidad |
| Área del módulo | 5.8 m ² | Proporción Pnom | 0.98 |
| Área celular | 5.3 m ² | | |

Pérdidas del conjunto

| | | | | | |
|--|--------------|---|--|--|--|
| Pérdidas de suciedad del conjunto | | Factor de pérdida térmica | | Pérdidas de cableado CC | |
| Frac. de pérdida | 1.5 % | Temperatura módulo según irradiancia | | Res. conjunto global 200 mΩ | |
| | | Uc (const) 20.0 W/m ² K | | Frac. de pérdida 1.5 % en STC | |
| | | Uv (viento) 0.0 W/m ² K/m/s | | | |
| Pérdida diodos serie | | LID - Degradación Inducida por Luz | | Pérdida de calidad módulo | |
| Caída de tensión | 0.7 V | Frac. de pérdida 2.0 % | | Frac. de pérdida -0.8 % | |
| Frac. de pérdida | 0.6 % en STC | | | | |
| Pérdidas de desajuste de módulo | | Módulo de degradación media | | Factor de pérdida IAM | |
| Frac. de pérdida | 1.0 % en MPP | Año n° 1 | | Parametriz. ASHRAE: IAM = 1 - bo (1/cosi - 1) | |
| | | Factor de pérdida 0.4 %/año | | Parám. bo 0.05 | |
| | | Desajuste debido a la degradación | | | |
| | | Dispersión Imp RMS 0.4 %/año | | | |
| | | Dispersión Vmp RMS 0.4 %/año | | | |

Pérdidas del sistema.

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Indisponibilidad del sistema | |
| Frac. de tiempo | 1.0 % |
| | 3.7 días, |
| | 3 períodos |



Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Definición del horizonte

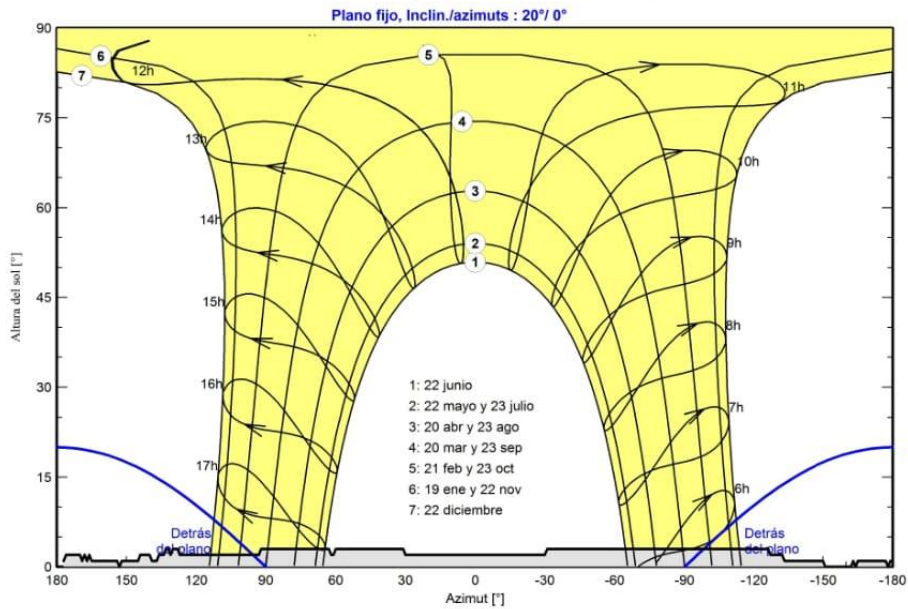
Meteonorm, lat=-15.623589, lon=-70.271839

| | | | |
|-----------------|-------|--------------------|-------|
| Altura promedio | 2.2 ° | Factor Albedo | 0.88 |
| Factor difuso | 0.99 | Fracción de albedo | 100 % |

Perfil del horizonte

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Azimet [°] | -179 | -178 | -177 | -165 | -164 | -163 | -162 | -151 | -150 | -133 | -132 | -127 | -126 |
| Altura [°] | 1.0 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 |
| Azimet [°] | -31 | -30 | 0 | 1 | 30 | 31 | 60 | 61 | 62 | 63 | 92 | 93 | 127 |
| Altura [°] | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| Azimet [°] | 128 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 136 | 137 | 139 | 140 | 144 | 145 | 152 |
| Altura [°] | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| Azimet [°] | 153 | 154 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 176 | 177 | | | |
| Altura [°] | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | | | |

Recorridos solares (diagrama de altura / azimet)





Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:

20/11/25 21:27

con V7.4.8

Parámetro de sombreados cercanos

Perspectiva del campo FV y la escena de sombreado circundante

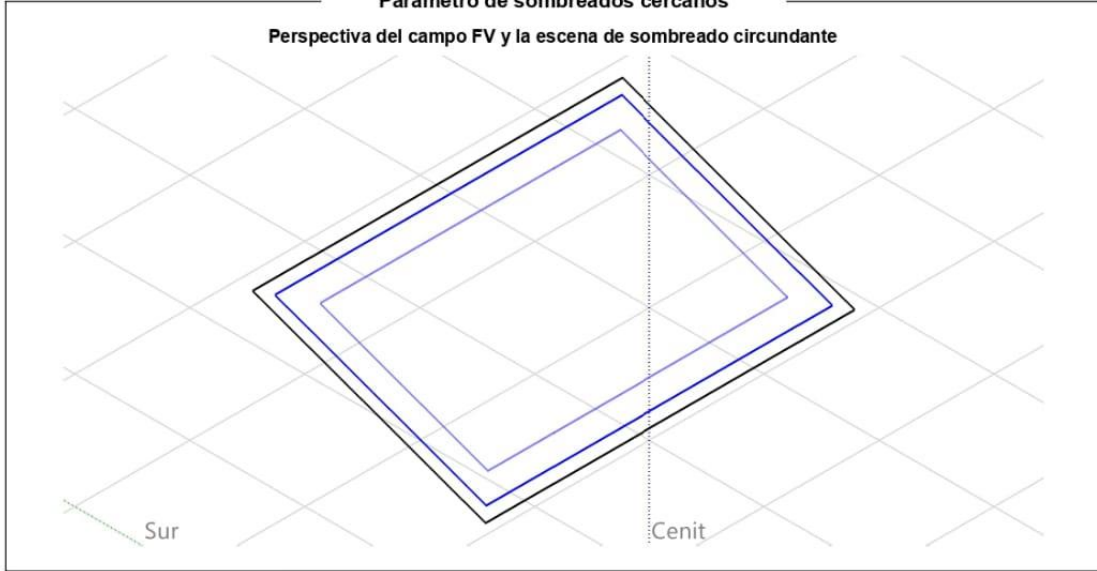
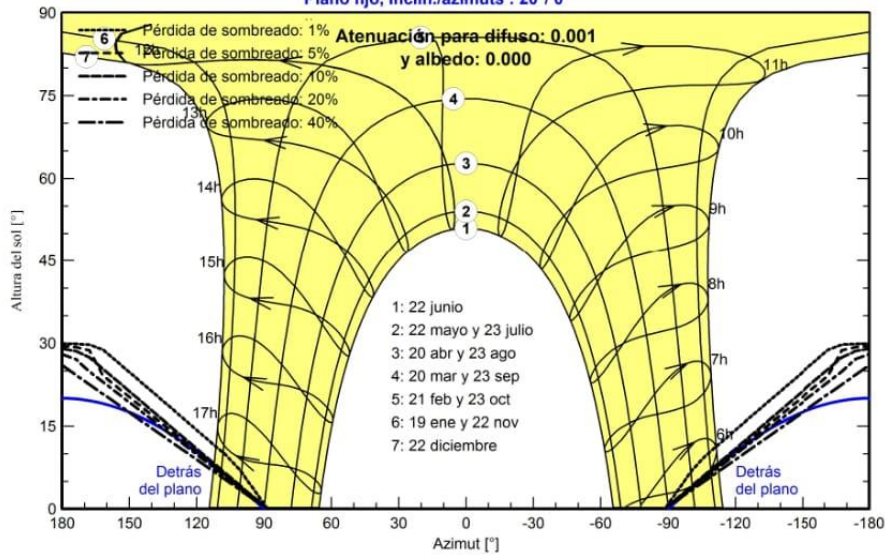


Diagrama de iso-sombreados

Orientación #1

Plano fijo, Inclín./azimuts : 20°/ 0°





Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Resultados principales

Producción del sistema

Energía producida

2171.14 kWh/año

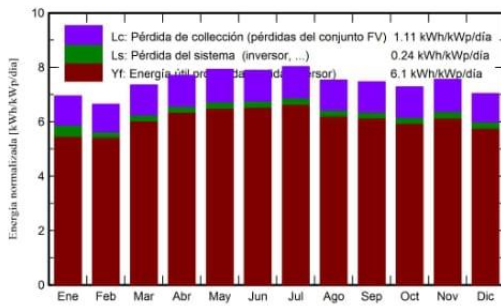
Producción específica

2227 kWh/kWp/año

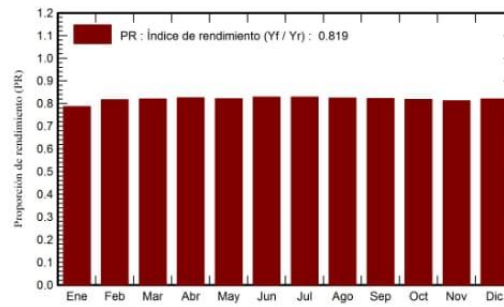
Proporción rend. PR

81.88 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m ² | DiffHor kWh/m ² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray kWh | E_Grid kWh | PR proporción |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------|
| Enero | 242.1 | 70.00 | 8.71 | 215.4 | 204.0 | 177.7 | 165.2 | 0.787 |
| Febrero | 197.0 | 60.26 | 8.67 | 186.1 | 177.0 | 153.9 | 148.2 | 0.817 |
| Marzo | 220.9 | 62.27 | 8.61 | 227.9 | 218.4 | 189.0 | 182.3 | 0.820 |
| Abril | 204.1 | 48.35 | 7.79 | 231.1 | 221.7 | 192.3 | 185.9 | 0.825 |
| Mayo | 201.1 | 48.36 | 6.46 | 245.6 | 235.6 | 203.5 | 196.6 | 0.821 |
| Junio | 187.0 | 39.48 | 5.06 | 236.8 | 227.8 | 198.0 | 191.3 | 0.828 |
| Julio | 200.4 | 44.42 | 4.80 | 248.7 | 239.5 | 207.9 | 200.9 | 0.829 |
| Agosto | 202.1 | 46.97 | 6.03 | 233.6 | 224.5 | 194.3 | 187.6 | 0.824 |
| Septiembre | 210.3 | 61.06 | 7.19 | 224.0 | 214.9 | 185.8 | 179.6 | 0.822 |
| Octubre | 230.4 | 67.36 | 8.52 | 225.6 | 216.0 | 186.5 | 179.8 | 0.817 |
| Noviembre | 247.7 | 69.89 | 9.50 | 226.7 | 216.2 | 186.7 | 179.6 | 0.813 |
| Diciembre | 248.6 | 68.50 | 9.33 | 218.1 | 207.1 | 181.3 | 174.2 | 0.819 |
| Año | 2591.8 | 686.92 | 7.55 | 2719.6 | 2602.8 | 2256.8 | 2171.1 | 0.819 |

Leyendas

- GlobHor Irradiación horizontal global
- DiffHor Irradiación difusa horizontal
- T_Amb Temperatura ambiente
- GlobInc Global incidente plano receptor
- GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray Energía efectiva a la salida del conjunto
- E_Grid Energía inyectada en la red
- PR Proporción de rendimiento



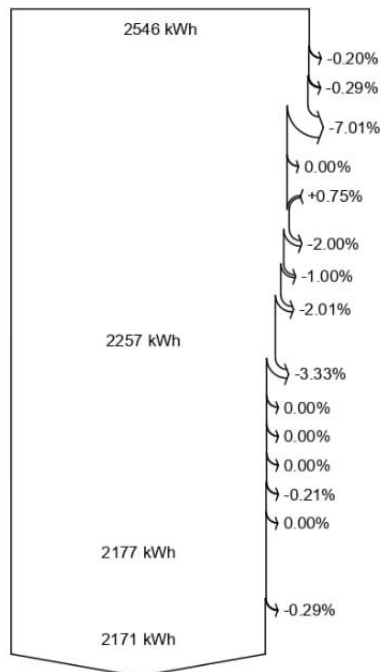
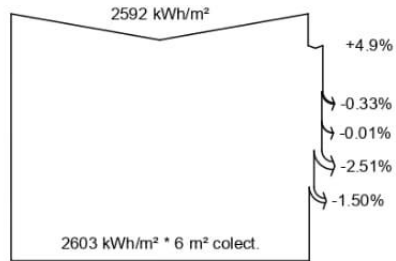
Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Diagrama de pérdida



Irradiación horizontal global

Global incidente plano receptor

- Sombreados lejanos / Horizonte
- Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia
- Factor IAM en global
- Factor de pérdida de suciedad

Irradiancia efectiva en colectores

Conversión FV

Conjunto de energía nominal (con efíc. STC)

- Pérdida de degradación módulos (por año #1)
- Pérdida FV debido al nivel de irradiancia
- Pérdida FV debido a la temperatura.

- Sombreados: pérdida eléctrica según las cadenas
- Pérdida calidad de módulo

LID - Degradación inducida por luz

Pérdida de desajuste de conjunto de módulos

Pérdida óhmica del cableado

Energía virtual del conjunto en MPP

- Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)
- Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal
- Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima
- Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal
- Pérdida del inversor debido al umbral de potencia
- Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

Energía disponible en la salida del inversor

Indisponibilidad del sistema

Energía inyectada en la red



Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

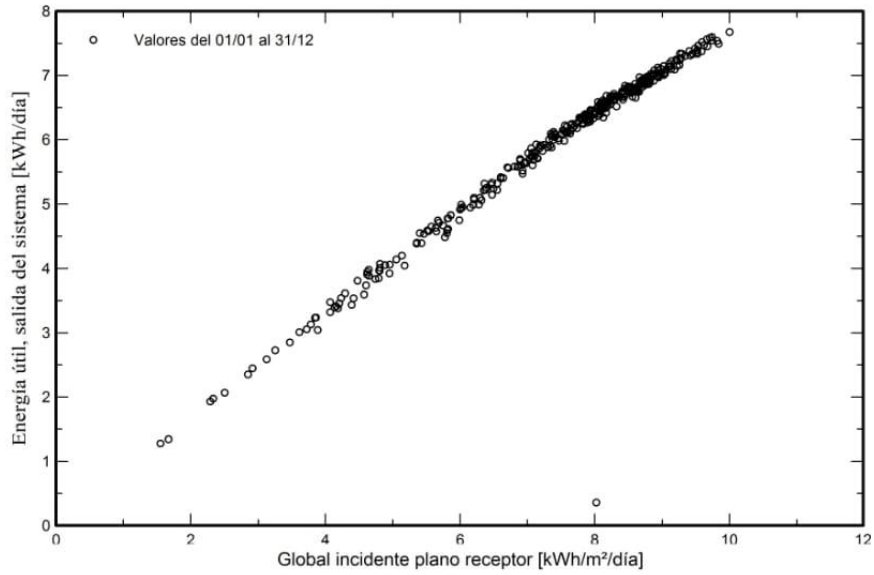
VC0, Fecha de simulación:

20/11/25 21:27

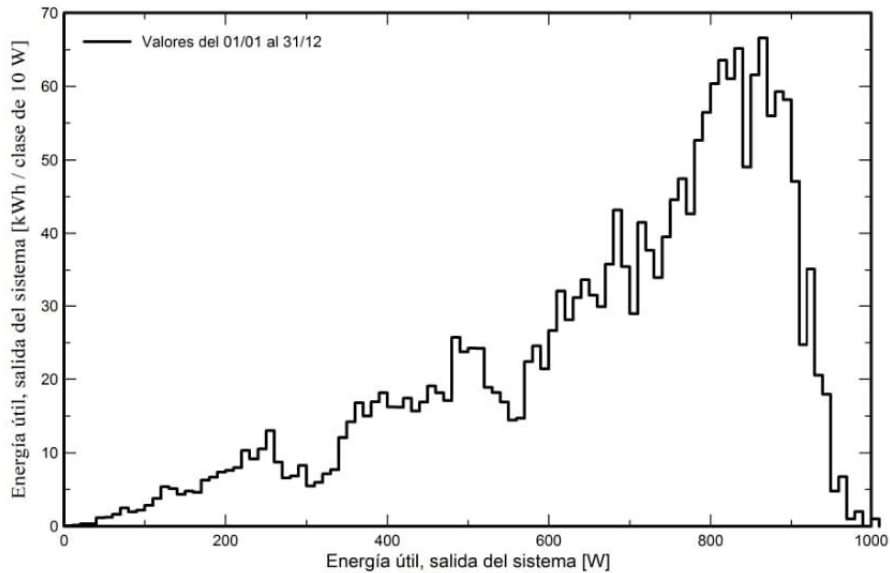
con V7.4.8

Gráficos predefinidos

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema





Proyecto: ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN SFV 975 WP

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.8

VC0, Fecha de simulación:
20/11/25 21:27
con V7.4.8

Evaluación P50 - P90

Datos meteo

Fuente: Meteonom 8.1 (2010-2017), Sat=100%
Tipo: Promedios mensuales
Sintético - Promedio multianual
Variabilidad año a año (Varianza): 0.0 %

Desviación especificada

Cambio climático: 0.0 %

Variabilidad global (datos meteo + sistema)

Variabilidad (Suma cuadrática): 1.8 %

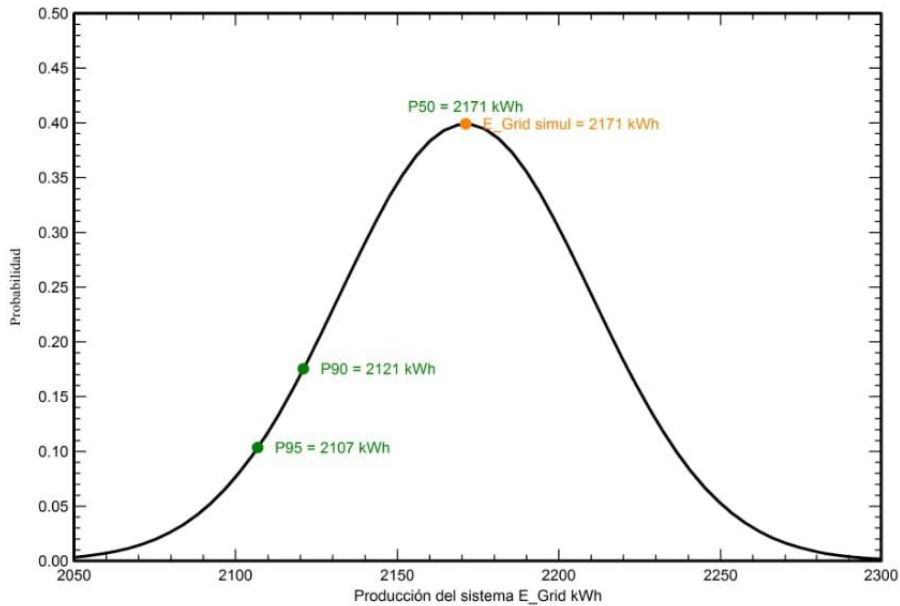
Incertidumbres sobre la simulación y los parámetros

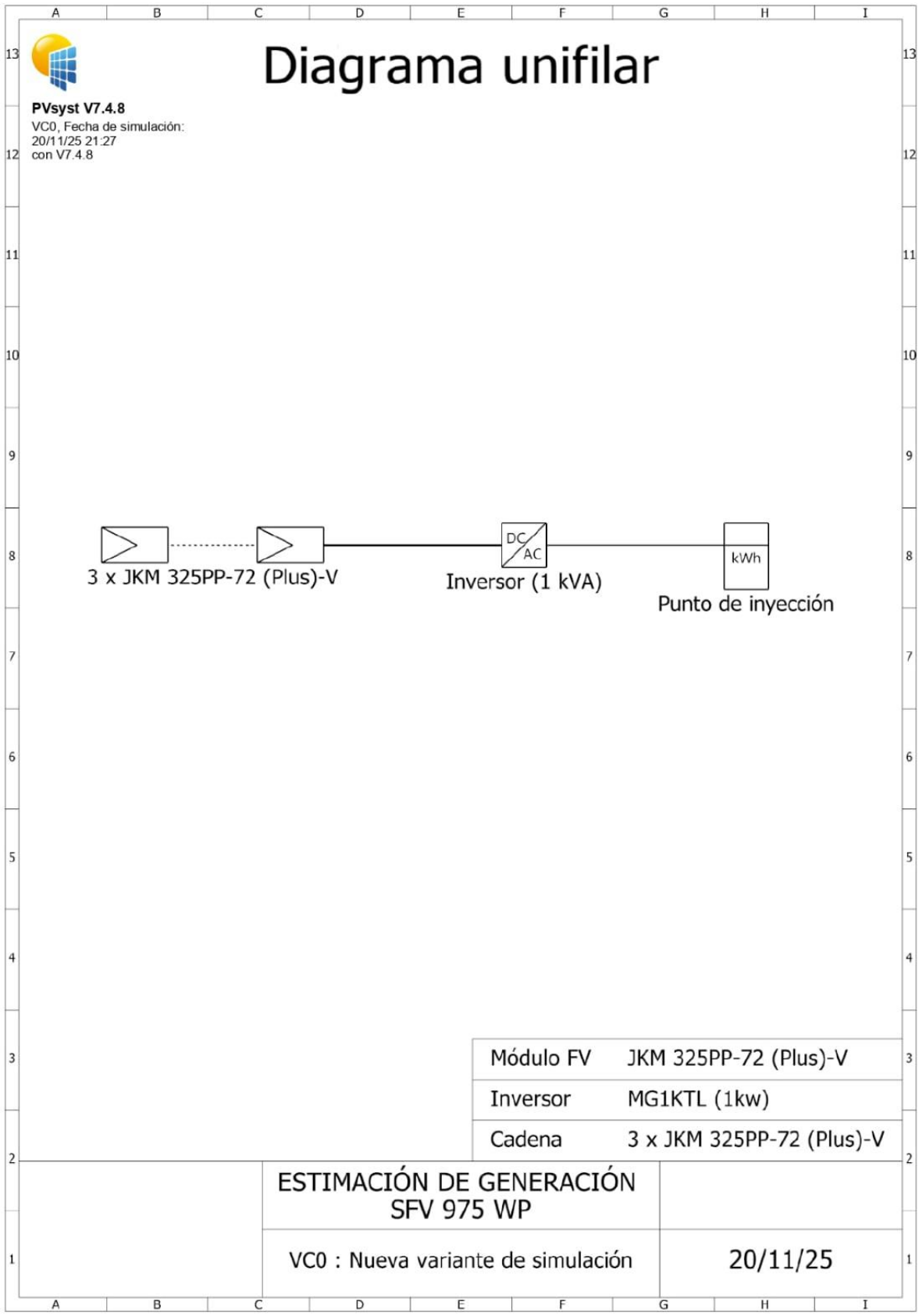
| | |
|--|-------|
| Modelado/parámetros del módulo FV | 1.0 % |
| Incertidumbre eficiencia inversor | 0.5 % |
| Incertidumbres de suciedad y desajuste | 1.0 % |
| Incertidumbre de degradación | 1.0 % |

Probabilidad de producción anual

| | |
|--------------|----------|
| Variabilidad | 39 kWh |
| P50 | 2171 kWh |
| P90 | 2121 kWh |
| P95 | 2107 kWh |

Distribución de probabilidad





Anexo 5 *Reporte técnico completo de NASTEC Solar Calculator*

El esquema de bombeo presentado en este anexo corresponde a una representación gráfica genérica generada por el software Nastec Solar Calculator, utilizada únicamente con fines de verificación del dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico. La tipología de bomba mostrada en el diagrama no representa una selección hidráulica específica. En el diseño del sistema de riego desarrollado en la presente investigación se emplea una bomba centrífuga superficial, cuya selección se realizó en función de los parámetros hidráulicos del sistema, manteniéndose válida la verificación energética efectuada mediante el software.

El presente anexo está conformado por el reporte completo generado por NASTEC Solar Calculator, compuesto por 7 hojas, las cuales incluyen parámetros de entrada, resultados de simulación y verificación del dimensionamiento energético del sistema

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Jr. Huanacaure Mz B2 Lt 2B, , JULIACA, PERU, SAN ROMAN
Tel: 965822794, Fax: ,
VAT: -

Solar pumping project

21/11/2025

The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations.
Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

Jr. Huanacaure Mz B2 Lt 2B, , JULIACA, PERU, SAN ROMAN

Tel: 965822794, Fax: ,

VAT: -

Attention to

JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

Jr. Huanacaure Mz B2 Lt 2B, 21103, JULIACA, Perú, Selecciona una Provincia

Tel: 965822794, Fax: , jalexander.energy@gmail.com

The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations.
Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

1. INSTALLATION SITE

Location

Puno, Perú



| Latitude | Longitude | Altitude (M) | GMT Offset (Hour(S)) |
|-----------|-----------|--------------|----------------------|
| -15,62013 | -70,27011 | 3884 | -5 |

| Selected months for operation | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | AVG |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Average daily solar irradiance [kWh/m ² /day] for latitude tilted panels | 5,98 | 5,83 | 5,93 | 6,22 | 6,45 | 6,35 | 6,38 | 6,33 | 6,57 | 6,52 | 6,87 | 6,67 | 6,34 |
| Max daily ambient temperature [°C] | 12,86 | 12,68 | 12,50 | 11,68 | 11,53 | 10,98 | 11,00 | 12,16 | 12,86 | 13,68 | 13,78 | 13,27 | 12,42 |
| Min daily ambient temperature [°C] | 7,05 | 6,75 | 6,46 | 5,27 | 2,91 | 1,50 | 0,91 | 1,98 | 3,57 | 5,35 | 6,40 | 7,11 | 4,61 |
| Average daily temperature [°C] | 9,96 | 9,72 | 9,48 | 8,48 | 7,22 | 6,24 | 5,96 | 7,07 | 8,22 | 9,52 | 10,09 | 10,19 | 8,51 |

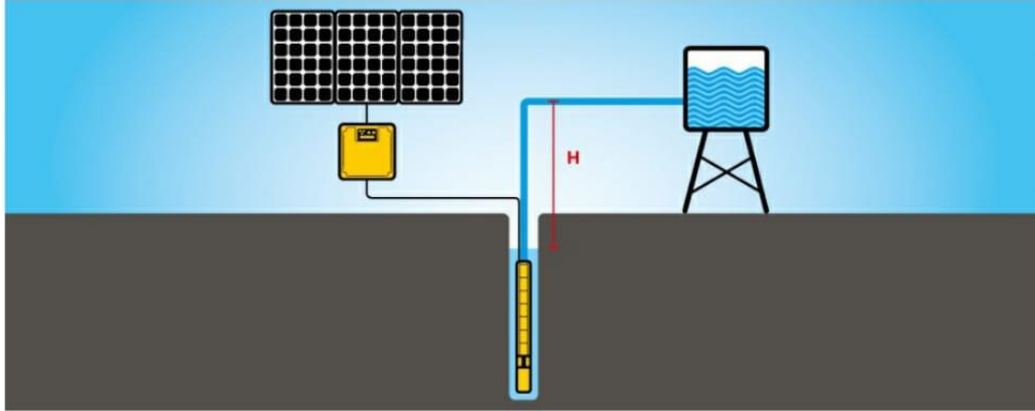
The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations. Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

2. SYSTEM PARAMETERS

Solar Pump Type

Submersible



Performance required

Daily Delivery m^3/h
1,2

Dynamic Head m
8,0634

COMBO solar not active

Additional infos

Pump Installation Depth m
1,5

Borehole Diameter $Inches$
1

Solar panel specs

Panel Model Panel Solar Jinko 325W 24V Policrist

Tilt Angle $^{\circ}$
20

Panel Specifications:

| | | |
|-------------|-------|-------------|
| Wp | 325 | W |
| Vmp | 37.6 | VDC |
| Voc | 46.7 | VDC |
| Imp | 8.66 | A |
| NOCT | 40 | $^{\circ}C$ |
| TC | 0 | %/K |
| Orientation | North | |

Pipe specs

length m
21,3

Internal Diameter mm
254

Roughness Coefficient
120

90° Curves
6

Check Valves
0

Valves
1

Add pipe Remove pipe

Cable specs

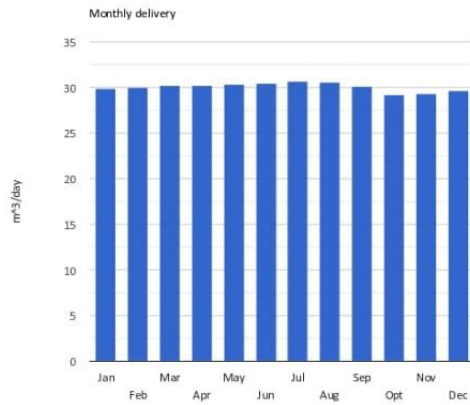
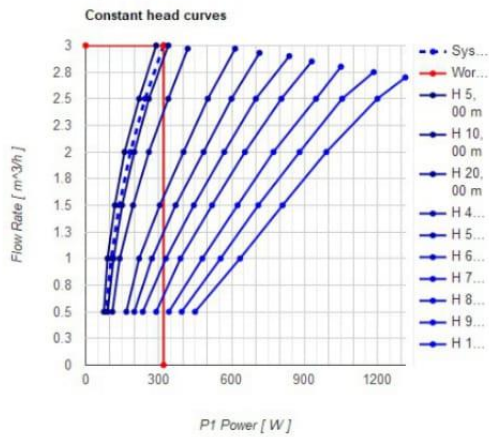
| PV Cable Length | Motor Cable Length |
|-----------------|--------------------|
| 10 m | 4 m |

| Admitted Power losses | Admitted Power Losses |
|-----------------------|-----------------------|
| 2 % | 4 % |

The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations. Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

3. PUMP PERFORMANCE



Solar pump

| | | |
|--|---------------|-----------------|
| Manufacturer | Nastec | |
| Part n.° | 3013360110 | |
| Description | 4HS MP 02/02H | |
| Pump P2 Power | 825 | W |
| Min motor speed for flow @H = 8,0634 m | 1022 | RPM |
| Pump cable size | 1 | mm ² |
| PV cable size | 4 | mm ² |

Solar panels

| | | |
|-------------------|---|---|
| Manufacturer | Panel Solar Jinko 325W 24V Policristalino | |
| Part n.° | 004 | |
| Description | JINKO 325WP | |
| Wp | 325 | W |
| Vmp | 37,6 | V |
| Voc | 46,7 | V |
| Imp | 8,66 | A |
| Strings | 1 | |
| Panels per string | 3 | |
| Total panels | 3 | |
| Total PV Power | 975 | W |

Typical working point

| | | |
|----------|------|------|
| P1 Power | 320 | W |
| Flow | 3,00 | m³/h |

Daily performance

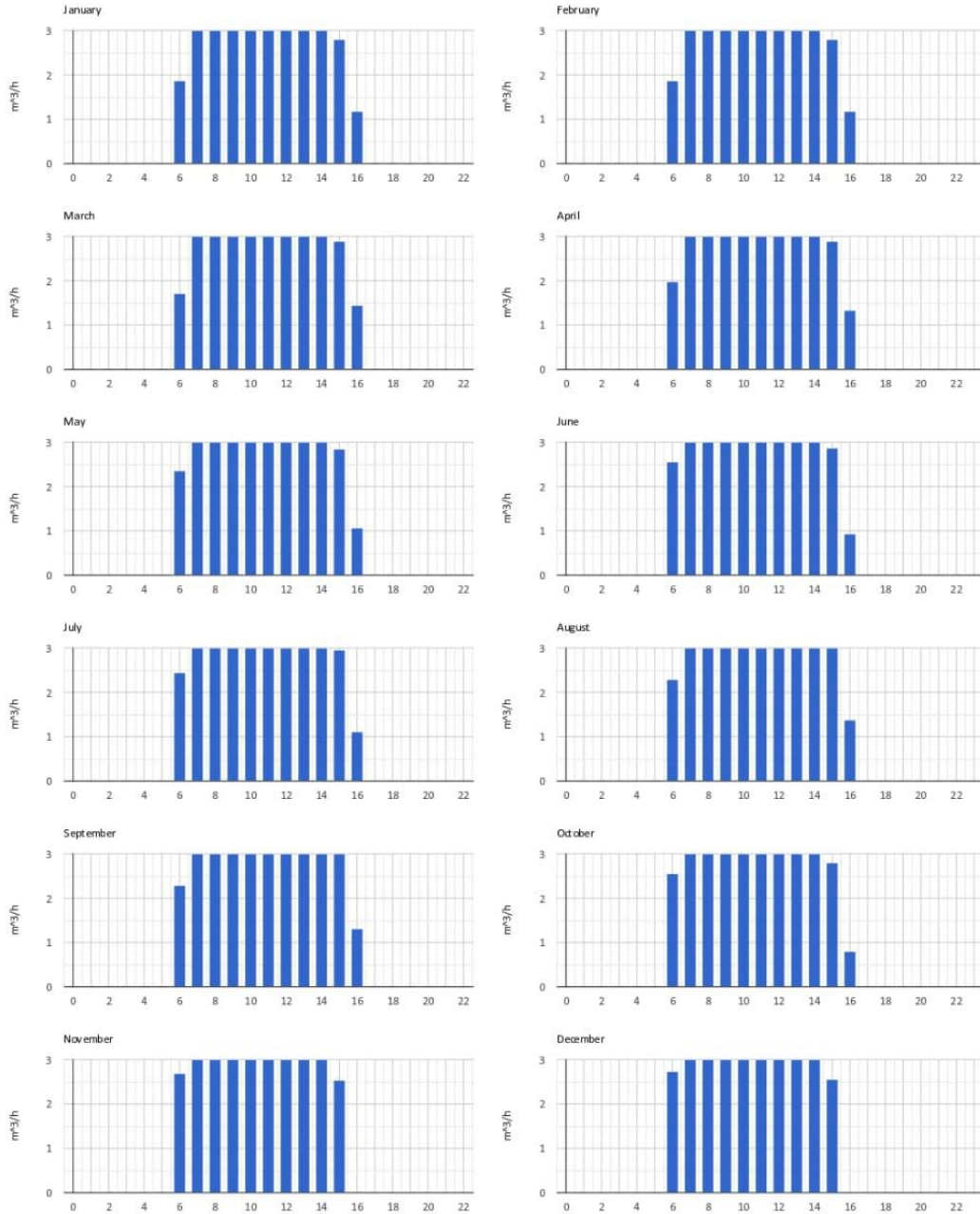
| | m³/day | m³/W/day |
|-------|----------|----------|
| Jan | 29,84 | 0,0306 |
| Feb | 30,04 | 0,0308 |
| Mar | 30,19 | 0,0310 |
| Apr | 30,26 | 0,0310 |
| May | 30,33 | 0,0311 |
| Jun | 30,51 | 0,0313 |
| Jul | 30,68 | 0,0315 |
| Aug | 30,60 | 0,0314 |
| Sep | 30,14 | 0,0309 |
| Opt | 29,21 | 0,0300 |
| Nov | 29,28 | 0,0300 |
| Dec | 29,66 | 0,0304 |
| Avg | 30,06 | 0,0308 |
| Total | 10972,92 | m³/year |

The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations. Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

3. PUMP PERFORMANCE - CONTINUE

Hourly delivery per month



The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations. Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

4. BILL OF MATERIALS

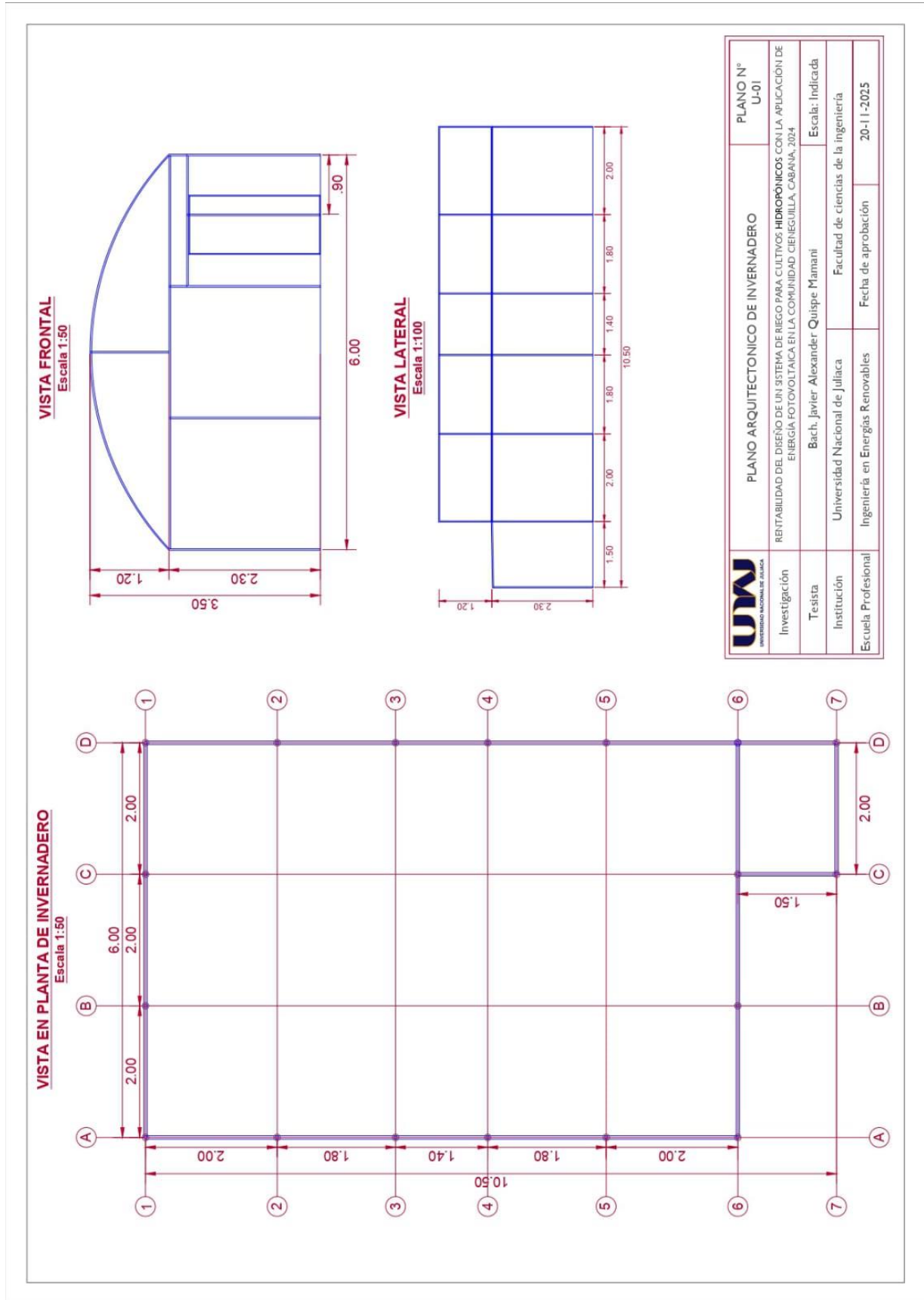
Bill of materials for system number: LUI GOMVIV-2025-3379


| <i>TYPE</i> | <i>ITEM</i> | <i>QUANTITY</i> |
|-------------|---|-----------------|
| Solar pump | Nastec 3013960110 4HS MP 02/02H | 1 |
| Solar panel | Panel Solar Jinko 325W 24V Policristalino 004 JINKO 325WP | 3 |

The information provided in this document is the result of calculations based on statistical data and approximations. Nastec disclaims any liability arising from errors.

Powered by Nastec www.nastec.eu info@nastec.eu

Anexo 6 Plano general del invernadero hidropónico NFT

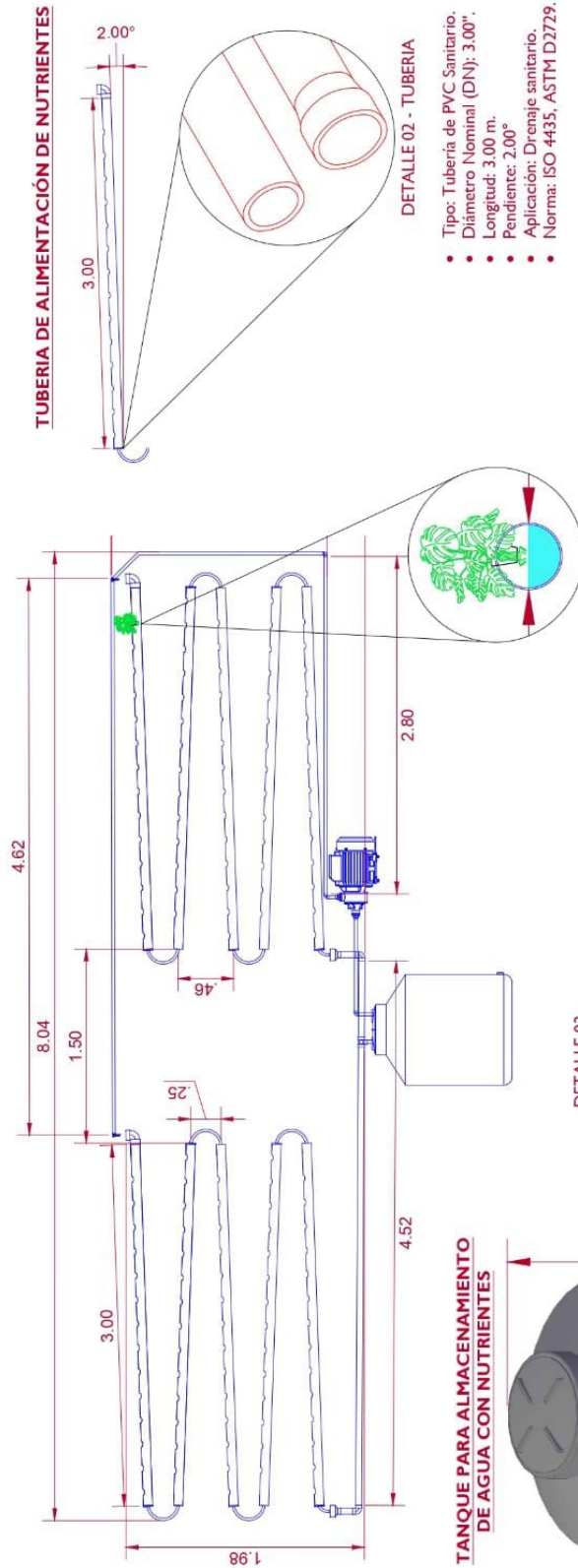


| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  Universidad Nacional de Juliaca | PLANO ARQUITECTONICO DE INVERNADERO | PLANO N° U-01 |
| | RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPONICOS CON LA APLICACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CIENEGUILLA, CABAYNA, 2024 | Escala: Indicada |
| | Tesista: Bach. Javier Alexander Quispe Mamani | Facultad de ciencias de la ingeniería |
| | Institución: Universidad Nacional de Juliaca | Fecha de aprobación: 20-11-2025 |
| Escuela Profesional: Ingeniería en Energías Renovables | | |

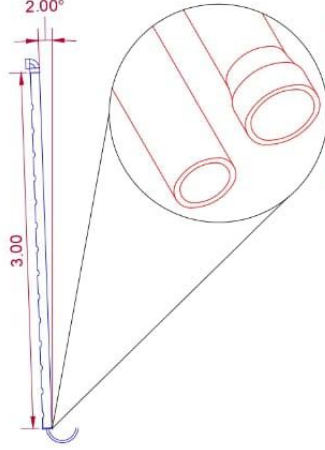
Anexo 7 Arquitectura hidráulica del sistema de riego hidropónico NFT

PLANO DE CONEXIÓN HIDRAULICA DEL SISTEMA DE INVERNADERO NFT

DIAGRAMA DE CONEXIÓN HIDRAULICA PARA SUMINISTRO DE NUTRIENTES



TUBERIA DE ALIMENTACIÓN DE NUTRIENTES



DETALLE 02 - TUBERIA

- Tipo: Tubería de PVC Sanitario.
- Diámetro Nominal (DN): 3.00".
- Longitud: 3.00 m.
- Pendiente: 2.00°
- Aplicación: Drenaje sanitario.
- Norma: ISO 4435, ASTM D2729.

DETALLE 01 - AGUJEROS DE TUBERIA

- Flujo de agua a 1.22 m³/h.
- Separación de agujeros: 0.20 m.

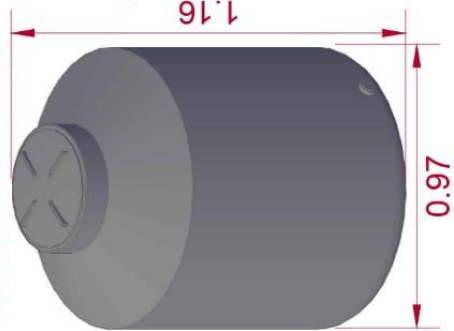
DETALLE 03

Tanque de agua 700.00 Lt 1.16 X 0.97

Características:

- Capa interna que bloquean el desarrollo de bacterias y algas.
- Filtro reutilizable que retiene sedimentos y mejora la calidad del agua.
- Diseño curvo que evita el estancamiento de agua en la superficie.
- Material resistente y de larga duración.
- Capacidad de 700 litros, ideal para hogares con consumo moderado.

TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA CON NUTRIENTES



| | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA | Investigación | PLANO DE CONEXIÓN HIDRAULICA | PLANO N° DH-01 |
| | Tesis | Bach. Javier Alexander Quispe Mamani | Escala: N/A |
| Institución | Universidad Nacional de Juliaca | Facultad de ciencias de la ingeniería | |
| Escuela Profesional | Ingeniería en Energías Renovables | Fecha de aprobación | 25-11-2025 |

RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPONICOS CON LA APLICACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CIENEGUILLA, CABANA, 2024

Anexo 8 Ficha técnica de la electrobomba seleccionada PKm 60

 **PKm 60[®]**

Electrobomba con rodete periférico

 Aguas limpias

 Uso doméstico

※ Desde 1974, la PKm 60[®] forma parte de nuestra historia. Y ya está en nuestro futuro.



- ※ En producción desde hace 50 años, desde 1974
- ※ Más de 23 millones de ejemplares producidos
- ※ Fabricada con materiales y componentes de primera calidad
- ※ Nuestro producto más económico y versátil
- ※ Nivel de ruido reducido del 20%
- ※ Producida únicamente con fuentes de energía renovables

CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **40 l/min** (2.4 m³/h)
- Altura hasta **40 m**

USOS E INSTALACIONES

Se recomienda para bombear agua limpia sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos para los materiales de la bomba.

Por su fiabilidad, facilidad de uso y rentabilidad, es adecuada para aplicaciones domésticas y, en particular, para la distribución de agua en combinación con pequeños depósitos en autoclaves, para el riego de huertos y jardines.

LÍMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C a +60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+50 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba **6 bar**

PATENTES - MARCAS - MODELOS

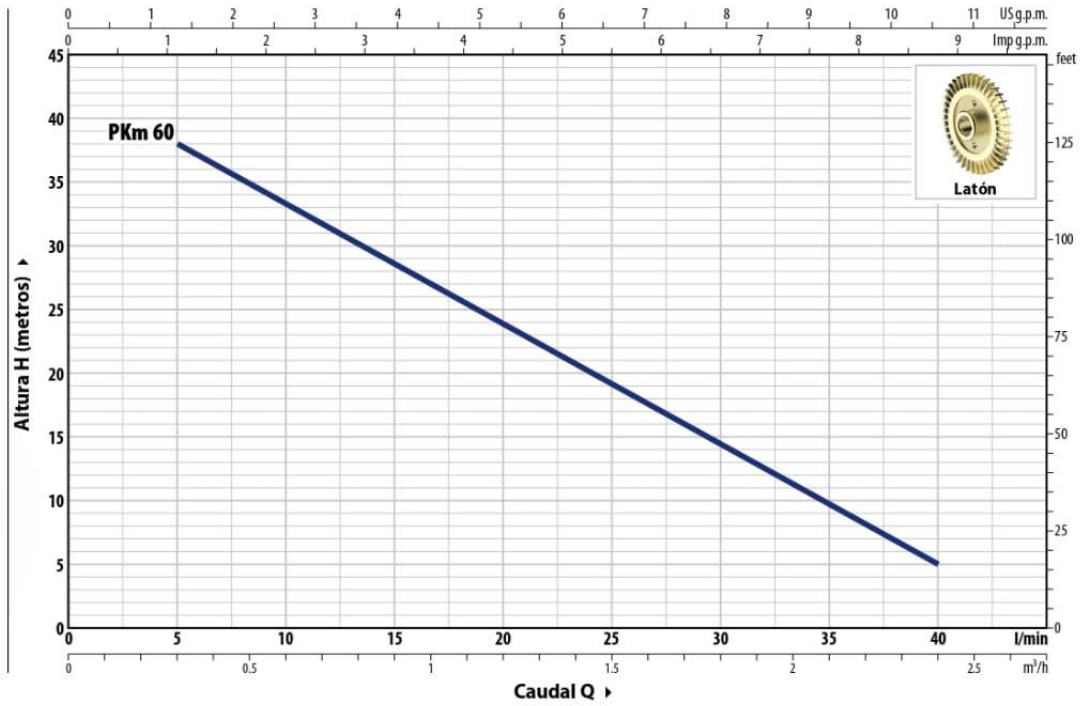
- Soporte: patente n° IT1243605
- Cuerpo: patente n° 0000275946
- Modelo comunitario registrado n° 018625876
- Modelo internacional registrado n° DM/220613
- PKm 60[®] Marca registrada n° 009875394

EJECUCIONES A PEDIDO

- ※ Diferente voltaje o frecuencia

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES - HS=0 m

60 Hz



| TIPO | | POTENCIA (P ₂) | | | Q | Caudal | | | | | | | | | |
|------------|-----------|----------------------------|------|-----|---|-------------------|----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Monofásico | Trifásico | kW | HP | 3~ | | m ³ /h | 0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| PKm 60 | PK 60 | 0.37 | 0.50 | IE2 | H | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | |
| | | | | | m | 40 | 38 | 33.5 | 29 | 24 | 19.5 | 15 | 10 | 5 | |

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

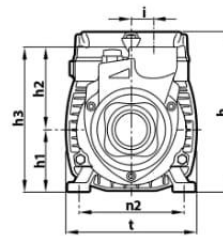
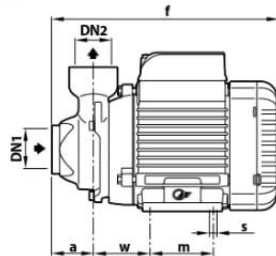
Tolerancia de las curvas de prestaciones según EN ISO 9906 Grado 3B.

CONSUMOS

| TIPO | TENSIÓN | |
|---------|------------|-------|
| | Monofásico | 220 V |
| PKm 60° | 2.6 A | 5.5 A |

| TIPO | TENSIÓN | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Trifásico | 220 V - Δ | 380 V - Δ | 220 V - Δ |
| PK 60° | 2.0 A | 1.15 A | 2.1 A | 1.2 A |

DIMENSIONES Y PESOS



| TIPO | | BOCAS | | DIMENSIONES mm | | | | | | | | | | | | | kg | |
|------------|-----------|-------|-----|----------------|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|--------|----|---|-----|-----|--|
| Monofásico | Trifásico | DN1 | DN2 | a | f | h | h1 | h2 | h3 | i | m | t | n2 | w | s | 1~ | 3~ | |
| PKm 60° | PK 60° | 1" | 1" | 38 | 208 | 145 | 56 | 75 | 131 | 20 | 55 | 118 | 94-100 | 53 | 7 | 5.0 | 5.0 | |

PALETIZACIÓN

| GROUPAGE | CONTAINER |
|-----------|-----------|
| n° bombas | n° bombas |
| 240 | 330 |

PKm 60° | 60 Hz



Operation Manual

BPD Series PV Pumping Inverter



SHENZHEN INVT ELECTRIC CO., LTD.

2 Product overview

2.1 Product specifications

| Model | BPD0K7 TN(AC) | BPD1K5 TN(AC) | BPD2K2 TN(AC) | BPD004 TNAC | BPD2K2 TRAC(S) | BPD004 TRAC(S) | BPD5K5 TRAC(S) |
|---|-------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| DC input | | | | | | | |
| Maximum DC voltage (V) | 450 | | | | 800 | | |
| Starting voltage (V) | 80 | 100 | | | 220 | | |
| Minimum working voltage (V) | 60 | 80 | | | 180 | | |
| Recommended MPPT voltage (V) | 80–400 | 100–400 | | | 220–750 | | |
| Number of input channels | 1/MC4 connector | 2/MC4 connector | | | 1/MC4 connector | 2/MC4 connector | |
| Maximum input DC current (A) | 9 | 12 | 12 | 20 | 12 | 20 | 20 |
| Bypass AC input (supporting mains input) | | | | | | | |
| Input voltage (V AC) | 220/230/240(1PH) (-15%--+10%) | | | | 380 (3PH) (-15%--+10%) | | |
| Input frequency (Hz) | 47–63 | | | | | | |
| AC input terminal | L, N, PE | | | | R, S, T, PE | | |
| AC output | | | | | | | |
| Rated power (W) | 750 | 1500 | 2200 | 4000 | 2200 | 4000 | 5500 |
| Rated current (A) | 5.1 (1PH) 4.2 (3PH) | 10.2 (1PH) 7.5 (3PH) | 14 (1PH) 10 (3PH) | 25 (1PH) 16 (3PH) | 5.5 | 9.5 | 14 |
| Output voltage (V AC) | 0–Input voltage | | | | | | |

| Model | BPD0K7 TN(AC) | BPD1K5 TN(AC) | BPD2K2 TN(AC) | BPD004 TNAC | BPD2K2 TRAC(S) | BPD004 TRAC(S) | BPD5K5 TRAC(S) |
|--------------------------------|---|------------------|------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| Output wiring mode | 1P2L: 1PH motor 1PH control 2P3L: 1PH motor 2PH control 3P3L: Connected to a 3PH asynchronous motor | | | | 3P3L: Connected to a 3PH asynchronous motor | | |
| Output frequency (Hz) | 1-400 | | | | | | |
| Control performance | | | | | | | |
| Control mode | V/F | | | | | | |
| Motor type | Asynchronous motor (1PH/3PH) | | | | Asynchronous motor (3PH) | | |
| Other parameters | | | | | | | |
| Dimensions (WxDxH) (mm) | 255x300 x137 | 280x300x137 | | 410x360 x154.5 | 331x360 x154.5 | 454x360x154.5 | |
| Net weight (kg) | 6.4 | 7 | | 13.15 | 10.1 | 14.1 | |
| Package weight (kg) | 8.5 | 9 | | 16 | 12 | 16 | |
| Ingress protection rating | IP65 | | | | | | |
| Cooling | Natural cooling | | | | | | |
| HMI | External LED keypad | | | | | | |
| Communication terminals | | | | | | | |
| External communication | RS485/3 digital inputs | | | | | | |
| Communication interface | Multi-core waterproof connector | | | | | | |
| Certification | | | | | | | |
| Standards | CE; EMC meets the requirements of IEC61800-3 C3. | | | | | | |
| Operating environment | | | | | | | |
| Ambient temperature | -25-60°C (derated at temperature higher than 45°C) | | | | | | |
| Altitude | 3000 m (derated at altitude higher than 2000 m) | | | | | | |

Anexo 10 Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos seleccionados JKM325PP

www.jinkosolar.com

JinKOsolar
Building Your Trust in Solar

JKM325PP-72(Plus)

310-325 Vatios

MÓDULO POLICRISTALINO

Tolerancia positiva 0/+3%

Fábrica con certificación ISO9001:2008,
ISO14001:2004,OHSAS18001

Productos con certificación IEC61215, IEC61730




Principales características



Potencia Elevada:

Los módulos de 72 células policristalinos alcanzan potencias de hasta 325Wp.



Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):

Se garantiza una degradación limitada de la potencia del módulo Eagle causada por la Degradación Potencial Inducida (PID por sus siglas en inglés) bajo condiciones de 60°C/85% de humedad relativa para la producción en masa..



Rendimiento con baja irradiación lumínica:

El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.



Resistencia en condiciones climatológicas adversas:

Certificado para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal).



Resistencia en condiciones ambientales extremas:

Alta resistencia a la brisa marina y al amoniaco, certificado por TÜV NORD.



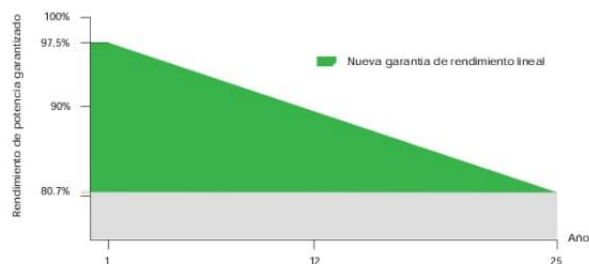
Coefficiente de Temperatura:

El coeficiente de temperatura mejorado reduce la pérdida de potencia en altas temperaturas.

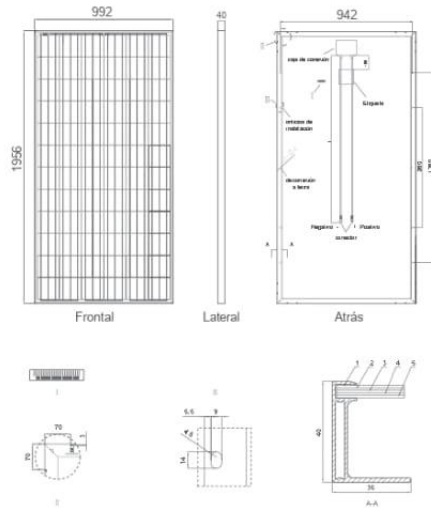


GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía de producto • 25 Años de garantía de potencia lineal



Dibujos técnicos

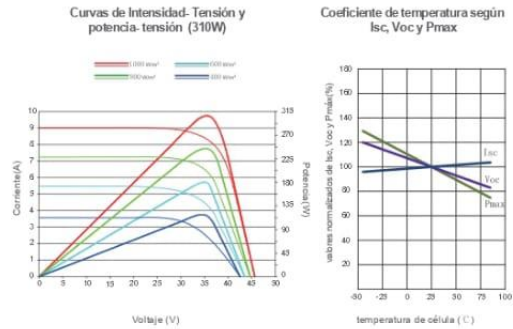


Embalaje

(Dos cajas = un palet)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 600 pzs./40 'HQ contenedores

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

| | | |
|------------------|--|-------------------------|
| Tipo de célula | Policristalina | 156×156 mm (6 pulgadas) |
| Nº de células | 72 (6×12) | |
| Dimensiones | 1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas) | |
| Peso | 26,5 kg (58,4 libras.) | |
| Vidrio frontal | 4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado | |
| Estructura | Aleación de aluminio anodizado | |
| Caja de conexión | Clase IP67 | |
| Cables de salida | TÜV 1×4,0 mm², Longitud: 900mm | |

ESPECIFICACIONES

| Tipo de módulo | JKM310PP(Plus) | | JKM315PP(Plus) | | JKM320PP(Plus) | | JKM325PP(Plus) | |
|--|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT |
| Potencia nominal (Pmáx) | 310Wp | 231Wp | 315Wp | 235Wp | 320Wp | 238Wp | 325Wp | 242Wp |
| Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V) | 37.0V | 33.9V | 37.2V | 34.3V | 37.4V | 34.7V | 37.6V | 35.0V |
| Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A) | 8.38A | 6.81A | 8.48A | 6.84A | 8.56A | 6.86A | 8.66A | 6.91A |
| Tensión en circuito abierto-VOC (V) | 45.9V | 42.7V | 46.2V | 43.2V | 46.4V | 43.7V | 46.7V | 44.0V |
| Corriente de cortocircuito-ISC (A) | 8.96A | 7.26A | 9.01A | 7.29A | 9.05A | 7.30A | 9.10A | 7.34A |
| Eficiencia del módulo (%) | 15.98% | | 16.23% | | 16.49% | | 16.75% | |
| Temperatura de funcionamiento (°C) | -40°C~+85°C | | | | | | | |
| Tensión máxima del sistema | 1000VDC (IEC) | | | | | | | |
| VALORES máximos recomendados de los fusibles | 15A | | | | | | | |
| Tolerancia de potencia nominal (%) | 0~+3% | | | | | | | |
| Coefficiente de temperatura de PMAX | -0.40%/°C | | | | | | | |
| Coefficiente de temperatura de VOC | -0.30%/°C | | | | | | | |
| Coefficiente de temperatura de ISC | 0.06%/°C | | | | | | | |
| TEMPERATURA operacional nominal de célula | 45±2°C | | | | | | | |

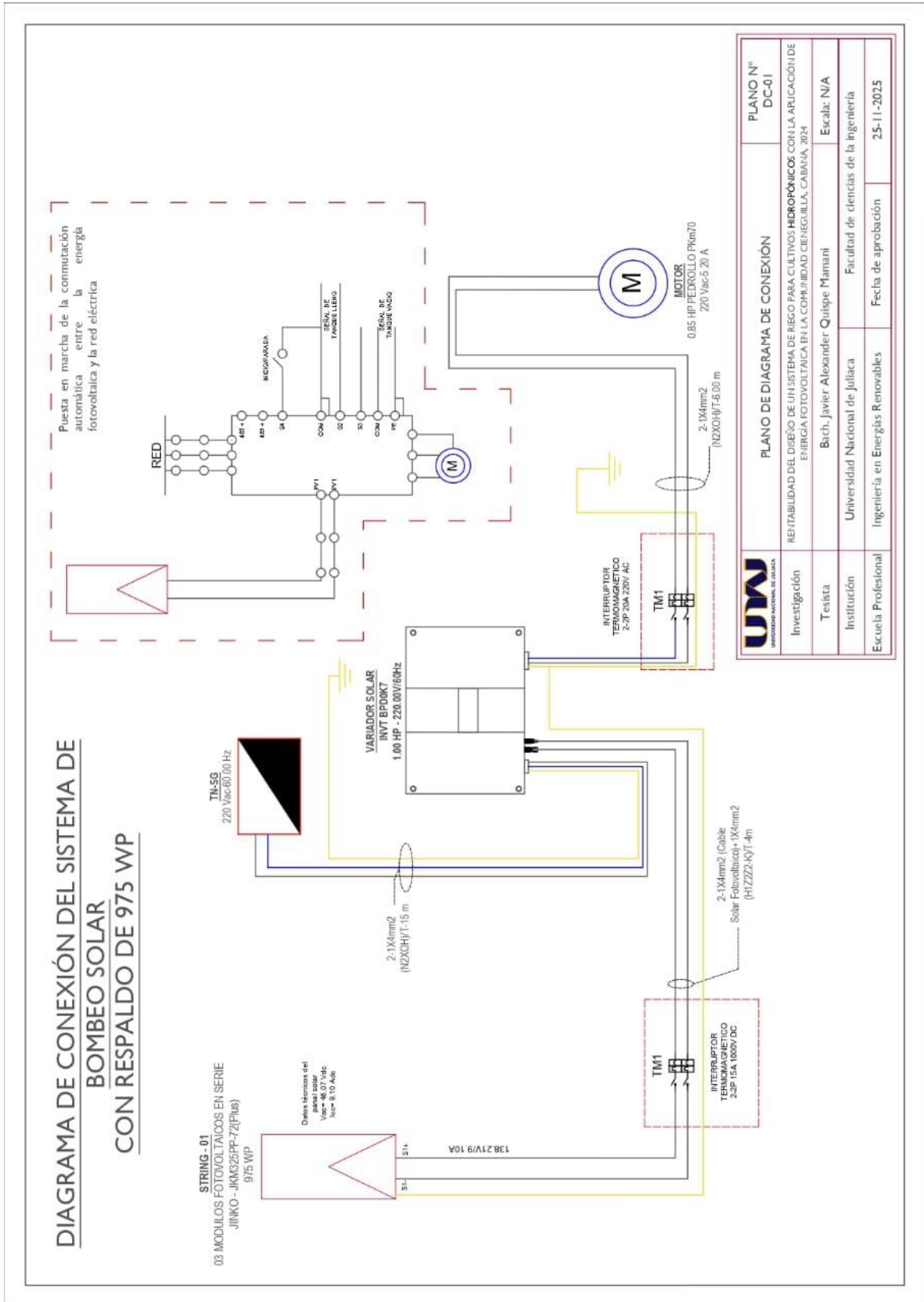
STC: ☀️ Radiación 1000 W/m² 🏠 Célula módulo 25°C ☁️ AM=1.5

NOCT: ☀️ Radiación 800 W/m² 🏠 Ambiente módulo 20°C ☁️ AM=1.5 🌬️ Velocidad del viento 1m/s

* TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-320PP(Plus)_rev2015

Anexo 11 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico de bombeo híbrido



Anexo 12 Ficha técnica del conductor eléctrico en corriente continua (DC)

TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K



TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K

Cable para instalaciones solares fotovoltaicas TÜV y EN.

EN 50618/ TÜV 2Pfg 1169-08 / UTE C.32-502

DISEÑO

Conductor

Cobre electrolítico estañado, clase 5 (flexible)

según UNE-EN 60228
e IEC 60228.

Aislamiento

Goma libre de halógenos

Cubierta

Goma libre de halógenos de color negro o rojo.



D_{ca} - s2, d2, a2

APLICACIONES

El cable Topsolar H1Z2Z2-K, certificado TÜV y EN, es apto para instalaciones fotovoltaicas, tanto en servicio móvil como en instalación fija. Cable muy flexible especialmente indicado para la conexión entre paneles fotovoltaicos, y desde los paneles al inversor de corriente continua o alterna. Compatible con la mayoría de conectores. Gracias al diseño de sus materiales, puede ser instalado a la intemperie en plenas garantías.



www.topcable.com

113

SOLAR



CARACTERÍSTICAS



Características eléctricas

BAJA TENSIÓN 1,5/1,5 - 1kV - (1,8) kV DC



Norma de referencia

EN 50618/ TÜV 2Pfg 1169-08 / UTE C 32-502



Certificaciones

Certificados

CE
TÜV
EN
RoHS



D_{ca}- s2, d2, a2



Características térmicas

Temp. máxima del conductor: 120°C.
Temp. máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s).
Temp. mínima de servicio: -40°C



Características frente al fuego

No propagación de la llama según UNE-EN 60332-1 e IEC 60332-1.
Libre de halógenos según UNE-EN 60754 e IEC 60754
Baja emisión de humos según UNE-EN 61034 e IEC 61034. Transmitancia luminosa > 60%.
Baja emisión de gases corrosivos UNE-EN 60754-2 e IEC 60754-2.
Reacción al fuego CPR: D_{ca}- s2, d2, a2 según la norma EN 50575.



Características mecánicas

Radio de curvatura: 3 x diámetro exterior.
Resistencia a Los impactos: AG2 Medio.



Características químicas

Resistencia a grasas y aceites: excelente.
Resistencia a Los ataques químicos: excelente.



Resistencia a los rayos Ultravioleta

Resistencia a Los rayos ultravioleta: EN 50618 y TÜV 2Pfg 1169-08.



Presencia de agua

Presencia de agua: AD8 sumergida.



Vida útil

Vida útil 30 años: Según UNE-EN 60216-2



Otros

Marcaje: metro a metro.



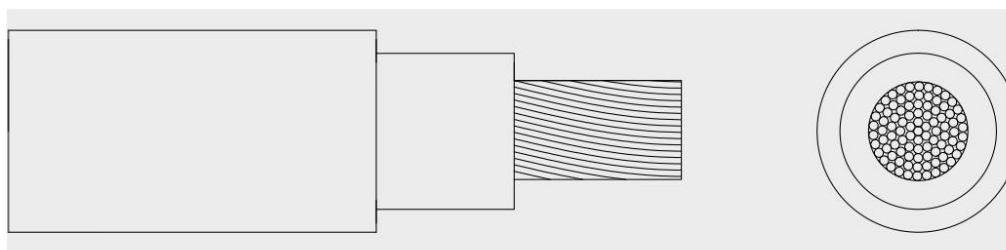
Condiciones de instalación

Al aire.
Enterrado.



Aplicaciones

Instalaciones solares fotovoltaicas.



DIMENSIONES

| Sección (mm) | Diámetro (mm) | Peso (Kg/km) | Aire Libre (A) | Int. Sobre Superficie (A) | Int. Adyacente a Superficie (A) | Caída tensión (V/A · km) |
|--------------|---------------|--------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1 x 2,5 | 4,8 | 42 | 41 | 39 | 33 | 23,0 |
| 1 x 4 | 5,3 | 57 | 55 | 52 | 44 | 14,3 |
| 1 x 6 | 5,9 | 76 | 70 | 67 | 57 | 9,49 |
| 1 x 10 | 7,0 | 120 | 98 | 93 | 79 | 5,46 |
| 1 x 16 | 8,2 | 179 | 132 | 125 | 107 | 3,47 |
| 1 x 25 | 10,8 | 294 | 176 | 167 | 142 | 2,23 |
| 1 x 35 | 11,9 | 390 | 218 | 207 | 176 | 1,58 |

SOLAR

Intensidades máximas admisibles según IEC 60364-5-52.

Para otras condiciones de instalación, consultar factores de corrección en el anexo de este catálogo.

Consulte más datos técnicos en la especificación particular del cable y en la Declaración de Prestaciones (DoP).

Top Cable se reserva el derecho de llevar a cabo cualquier modificación de esta ficha técnica sin previo aviso.

Para más información: ventas@topcable.com

Anexo 13 Ficha técnica del conductor eléctrico en corriente alterna (AC)

PC NH-90 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados y lugares de alta afluencia de público.

DESCRIPCIÓN

Aplicación:

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados en los cuales ante un incendio, las emisiones de gases tóxicos, corrosivos y la emisión de humos oscuros, pone en peligro la vida y destruye equipos eléctricos y electrónicos. En caso de incendio aumenta la posibilidad de sobrevivencia de las posibles víctimas al no respirar gases tóxicos y tener una buena visibilidad para el salvamento y escape del lugar. Generalmente se instalan en tubos conduit y en ambientes interiores en bandejas. No recomendado para instalaciones a la intemperie

Construcción:

1. Conductor: Cobre blando, clase 2.
2. Aislamiento: Compuesto termoplástico libre de halógenos deslizante HFFR.

Principales características:

- No propaga el incendio, cero emisión de humos densos y libre de halógenos.
- De fácil y rápida apertura debido a su empaque con un troquelado innovador OPEN FAST.
- De fácil instalación debido a su aislamiento deslizante, no necesita ningún tipo de lubricante para la instalación en tuberías.
- De fácil medición debido a su doble marcación del metraje secuencial denominado METRIUM que permite leer rápidamente las longitudes instaladas
- Uso de holograma de identificación de originalidad del producto tecnología VIGICHECK

Sección:

Desde 1,5 mm² hasta 6 mm².

Marcación:

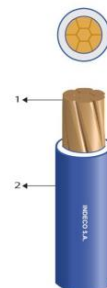
INDECO BY NEXANS PC NH-90 450/750 V Sección - H07Z1-R TYPE 2 - Año - HECHO EN PERU (- metrado secuencial m. // metrado secuencial. +).

Embalaje:

En rollos estándar de 100 metros con holograma VIGICHECK.

Color:

Negro, rojo, azul y blanco.



NORMAS

Internacional IEC 60228;
IEC 60332-1-2;
IEC 60332-3-24 Cat.C;
IEC 60684-2; IEC 60754-1;
IEC 60754-2; IEC 61034-2

Nacional NTP 370.252; NTP-
IEC 60228; UL 2556



Libre de halógenos
IEC 60754-1



Flexibilidad del conductor
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Toxicidad de los gases
Cero Toxicidad
IEC 60684-2



Corrosividad de los gases
Cero Corrosividad
IEC 60754-2



Densidad de los humos
Nula Emisión de Humos - IEC
61034-2



No propagación de la llama
IEC 60332-1-2; FT1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-24
Cat.C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.1 Generado 14/08/24 www.nexans.pe Página 1 / 5

INDECO
by Nexans

PC NH-90 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Normas nacionales

NTP-IEC 60228: Conductores para cables aislados.

NTP 370.252: Cables aislados con compuesto termoplastico y termoestable para tensiones hasta e inclusive 450/750 V.

NTP 370.266-3-31: Cables electricos de baja tension. Cable de tension nominal inferior o igual a 450/750 V - Parte 3-31: Cables con propiedades especiales ante el fuego. Cables unipolares sin cubierta con aislamiento termoplastico libre de halogenos y baja emision de humo.

NTP 370.264-7: Materiales de aislamiento, cubierta y recubrimiento para cables electricos de energia de baja tension - Parte 7: Compuestos termoplasticos libres de halogenos para aislamiento.

Normas internacionales aplicables

IEC 60228: Conductores para cables aislados.

IEC 60332-1-2: Ensayo de propagacion de llama vertical para un alambre o cable simple - Procedimiento para llama premezclada de 1kW.

UL 2556: Metodos de ensayo para alambre y cable. Seccion 9.3: Ensayo de propagacion de llama -FT1 (muestra vertical).

IEC 60332-3-24: Ensayo para llama vertical extendida de alambres agrupados o cables montados verticalmente - Categoria C.

IEC 60684-2: Tubos flexibles aislantes - Parte 2: Métodos de ensayo.

IEC 60754-1: Ensayo de los gases desprendidos durante la combustion de materiales procedentes de los cables - Parte 1: Determinación del contenido de gases halogenos acidos.

IEC 60754-2: Ensayo de los gases desprendidos durante la combustion de materiales procedentes de los cables - Parte 2: Determinacion de la acidez (por medida del pH) y la conductividad.

IEC 61034-2: Medida de la densidad de los humos emitidos por cables en combustión bajo condiciones definidas.

CARACTERÍSTICAS

Características de construcción

| | |
|------------------------|---|
| Material del conductor | Cobre Temple Blando |
| Aislamiento | Compuesto Termoplástico Libre de Halógenos deslizante |
| Libre de halógenos | IEC 60754-1 |



Libre de halógenos
IEC 60754-1



Flexibilidad del conductor
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Toxicidad de los gases
Cero Toxicidad
IEC 60684-2



Corrosividad de los gases
Cero Corrosividad
IEC 60754-2



Densidad de los humos
Nula Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama
IEC 60332-1-2; FT1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-24
Cat.C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.1 Generado 14/08/24 www.nexans.pe Página 2 / 5

PC NH-90 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

| Características de construcción | |
|--|--|
| Flexibilidad del conductor | Clase 2 IEC 60228 |
| Características eléctricas | |
| Tensión nominal de servicio Uo/U (Um) | 450/750 V |
| Rigidez dieléctrica | 2.5 kV |
| Tiempo Rigidez Dielectrica Vca al aislamiento | 5 min. |
| Características de uso | |
| Toxicidad de los gases | Cero Toxicidad IEC 60684-2 |
| Corrosividad de los gases | Cero Corrosividad IEC 60754-2 |
| Densidad de los humos | Nula Emisión de Humos - IEC 61034-2 |
| No propagación de la llama | IEC 60332-1-2; FT1 |
| No propagador del incendio | IEC 60332-3-24 Cat.C |
| Marcación secuencial | Doble marcación del metraje secuencial METRIUM |
| Embalaje | OPEN FAST - Rollo 100 m |
| Temperatura mínima operación | -40 °C |
| Temperatura máxima operación | 90 °C |
| Temperatura de sobrecarga de emergencia | 100 °C |
| Temperatura máxima del conductor en corto-circuito | 160 °C |

DATOS DIMENSIONALES

| Sección [mm²] | Nº total alambres | Diam. Conductor [mm] | Mín. espes Aislam. [mm] | Diam. Nom. Exterior [mm] | Peso aprox. [kg/km] |
|---------------|-------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1.5 | 7 | 1.5 | 0.7 | 3.0 | 21 |
| 2.5 | 7 | 1.9 | 0.8 | 3.6 | 33 |
| 4 | 7 | 2.4 | 0.8 | 4.1 | 48 |
| 6 | 7 | 3.0 | 0.8 | 4.6 | 68 |

DATOS ELECTRICOS

| Sección [mm²] | Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km] | Capac. Corriente ducto 30°C [A] | Capacitancia Nominal [pF/m] |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1.5 | 12.1 | 20 | 641.0 |
| 2.5 | 7.41 | 27 | 695.0 |
| 4 | 4.61 | 34 | 830.0 |
| 6 | 3.08 | 43 | 1040.0 |



Libre de halógenos
IEC 60754-1



Flexibilidad del conductor
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Toxicidad de los gases
Cero Toxicidad
IEC 60684-2



Corrosividad de los gases
Cero Corrosividad
IEC 60754-2



Densidad de los humos
Nula Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama
IEC 60332-1-2; FT1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-24 Cat.C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.1 Generado 14/08/24 www.nexans.pe Página 3 / 5

INDECO
by **Nexans**

PC NH-90 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

LISTA DE PRODUCTOS

| Ref. Nexans | Ref. de País | Nombre | Color | Diámetro del conductor [mm] | Diámetro exterior nominal [mm] |
|---------------|--------------|-------------------------------|--------|-----------------------------|--------------------------------|
| ☞ P00039266-4 | 10053662 | PC NH-90 450/750 V 1,5 mm2 BL | Blanco | 1.5 | 3.0 |
| ☞ P00039269-4 | 10053673 | PC NH-90 450/750 V 1,5 mm2 NG | Negro | 1.5 | 3.0 |
| ☞ P00039267-4 | 10053674 | PC NH-90 450/750 V 1,5 mm2 AZ | Azul | 1.5 | 3.0 |
| ☞ P00039299-4 | 10053676 | PC NH-90 450/750 V 2,5 mm2 RJ | Rojo | 1.9 | 3.6 |
| ☞ P00039301-4 | 10053679 | PC NH-90 450/750 V 2,5 mm2 BL | Blanco | 1.9 | 3.6 |
| ☞ P00039298-4 | 10053677 | PC NH-90 450/750 V 2,5 mm2 NG | Negro | 1.9 | 3.6 |
| ☞ P00039300-5 | 10053680 | PC NH-90 450/750 V 2,5 mm2 AZ | Azul | 1.9 | 3.6 |
| ☞ P00039306-4 | 10053681 | PC NH-90 450/750 V 4 mm2 RJ | Rojo | 2.4 | 4.1 |
| ☞ P00039308-4 | 10053684 | PC NH-90 450/750 V 4 mm2 BL | Blanco | 2.4 | 4.1 |
| ☞ P00039305-4 | 10053682 | PC NH-90 450/750 V 4 mm2 NG | Negro | 2.4 | 4.1 |
| ☞ P00039307-4 | 10053685 | PC NH-90 450/750 V 4 mm2 AZ | Azul | 2.4 | 4.1 |
| ☞ P00039312-4 | 10053687 | PC NH-90 450/750 V 6 mm2 RJ | Rojo | 3.0 | 4.6 |
| ☞ P00039314-4 | 10053689 | PC NH-90 450/750 V 6 mm2 BL | Blanco | 3.0 | 4.6 |
| ☞ P00039311-4 | 10053686 | PC NH-90 450/750 V 6 mm2 NG | Negro | 3.0 | 4.6 |
| ☞ P00039313-4 | 10053688 | PC NH-90 450/750 V 6 mm2 AZ | Azul | 3.0 | 4.6 |
| ☞ P00039268-4 | 10053661 | PC NH-90 450/750 V 1,5 mm2 RJ | Rojo | 1.5 | 3.0 |

☞ = Realizar pedido, ☞ = Reservar stock,



Libre de halógenos
IEC 60754-1



Flexibilidad del conductor
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Toxicidad de los gases
Cero Toxicidad
IEC 60684-2



Corrosividad de los gases
Cero Corrosividad
IEC 60754-2



Densidad de los humos
Nula Emisión de Humos - IEC
61034-2



No propagación de la llama
IEC 60332-1-2; FT1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-24
Cat.C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.1 Generado 14/08/24 www.nexans.pe Página 4 / 5

INDECO
by **Nexans**

PC NH-90 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

CONDICIONES DE CÁLCULO DE CORRIENTE B.T.; NH-90

CONDICIONES DE CALCULO DE CORRIENTE

Calculo de la capacidad de corriente en base a la NTC2050 tabla 310-16 y CNE Tabla 2.

Temperatura máxima del conductor : 90°C.

Temperatura ambiente : 30°C.



Libre de halógenos
IEC 60754-1



Flexibilidad del
conductor
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de
servicio U₀/U (Um)
450/750 V



Toxicidad de los
gases
Cero Toxicidad
IEC 60684-2



Corrosividad de los
gases
Cero Corrosividad
IEC 60754-2



Densidad de los
humos
Nula Emisión de
Humos - IEC
61034-2



No propagación de
la llama
IEC 60332-1-2; FT1



No propagador del
incendio
IEC 60332-3-24
Cat.C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.1 Generado 14/08/24 www.nexans.pe Página 5 / 5

INDECO
by **Nexans**

Anexo 14 Plano de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos

ESTRUCTURA DE MODULO FOTOVOLTAICO

DETALLE 01
ABRAZADERA EXTERNA
Cotas en mm

Imagen referencial 3D

VISTA LATERAL DE LA ESTRUCTURA DE MODULOS FOTOVOLTAICOS
Escala: 1:70

VISTA SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA DE MODULOS FOTOVOLTAICOS
Escala 1:50

ESPECIFICACIONES TECNICAS

ESTRUCTURAS METALICAS

- La velocidad del viento para en diseño es de 28 m/s.
- Material de Estructuras: Aleación de Aluminio serie 6000.
- Resistividad eléctrica: 3.49e-006 ohm-cm

- Las medidas están en metros (m) a excepción del Detalle 01.

Nota importante:

Las dimensiones de la estructura fotovoltaica están sujetas a revisión y ajuste según sea necesario, en función de las siguientes consideraciones:

- Replanteo y verificación en sitio
- Observaciones y requisitos específicos del cliente
- Mejoras y optimizaciones en el diseño y la ingeniería
- Adaptaciones a condiciones climáticas, geotécnicas o ambientales específicas del sitio de instalación

Por lo tanto, las medidas y dimensiones indicadas en este documento son provisionales y podrían variar una vez que se complete la fase de replanteo y verificación en sitio.

PROYECTO:
RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPONICOS CON LA APLICACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CIENEGUILLA, CABANA, 2024

INSTITUCION:

UBICACION:
Cieneguilla, Cabana, San Roman
Lat./Long.
-15.623589, -70.271839

DISTRITO:
CABANA

PROPIETARIO:
Bach, Javier Alexander Quispe Mamani

PROYECTISTA:
Bach, Javier Alexander Quispe Mamani

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
OCT - 2025

N° DE LAMINA:
PE-01

Anexo 15 Ficha técnica de la estructura de soporte fotovoltaico

TEPERION®

ESTRUCTURAS METÁLICAS PARA PANELES SOLARES



Ahorra
Tiempo



Ahorra
Dinero



Asegura la
calidad de
tu instalación

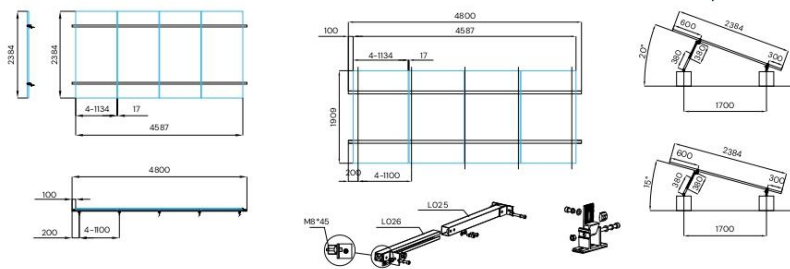
ESTRUCTURAS METÁLICAS PISAQ - ANGULAR / 15° A 20° GRADOS REGULABLE
PERFIL DE RIEL 4800mm Longitud
 (Hasta 04 paneles solares de 1134mm ancho x 30mm espesor)

DIBUJO TÉCNICO EJEMPLO

Certificaciones:



Material Principal: **AL 6005-T5**
 Material pernería: **SUS304**



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Material de Estructuras: Aleación de Aluminio serie 6000, keyword: AL6005T5

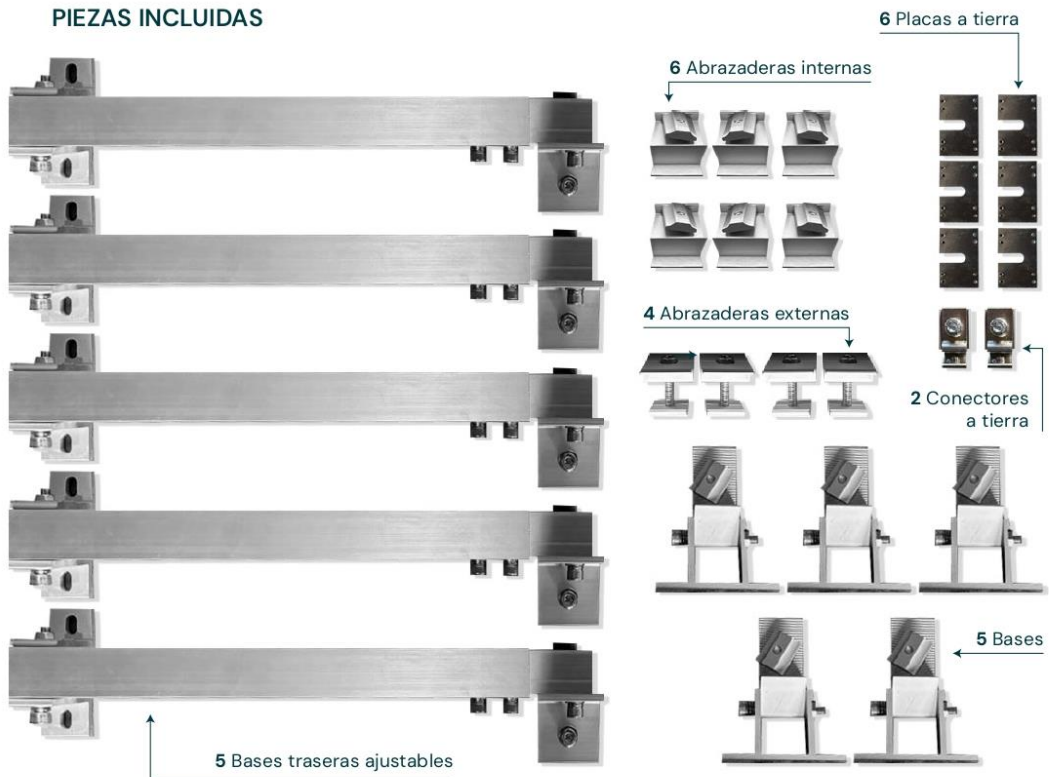
| Propiedades físicas | |
|------------------------------------|------------------|
| Densidad | 2.7 g/cc |
| Propiedades mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 95 |
| Dureza, Knoop | 120 |
| Dureza, Rockwell A | 40 |
| Dureza, Rockwell B | 60 |
| Resistencia a la tracción, Utlmate | 260 Mpa |
| Resistencia a la tracción, Yield | 240 Mpa |
| Propiedades eléctricas | |
| Resistividad eléctrica | 3.49e-006 ohm-cm |



INFORMACIÓN TÉCNICA:

1. Basado en tamaño del módulo ejemplo es 2382X1134X30mm
2. Arreglo de módulos ejemplo: 1X4 (4 piezas)
3. La velocidad del viento apta en diseño es de 28 m/s

PIEZAS INCLUIDAS



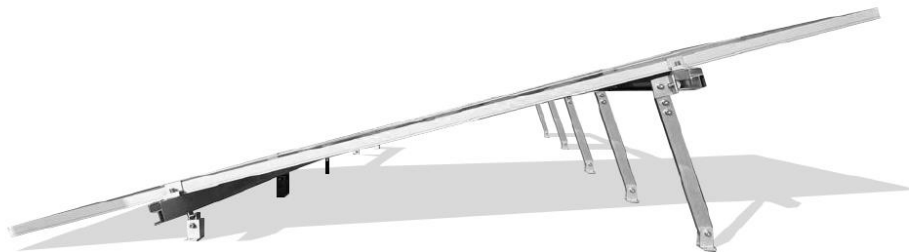
ESTA FOTO ES DE UN ACCESORIO ADICIONAL

En caso necesites extender la longitud de tus rieles puedes usar este acople.
(Se vende por separado - No se incluye en el SET)



*Accesorios en venta adicionales únicamente con la compra de los SETS.

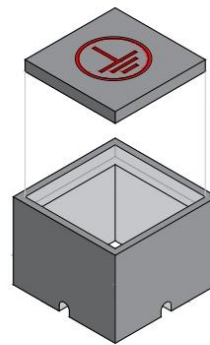
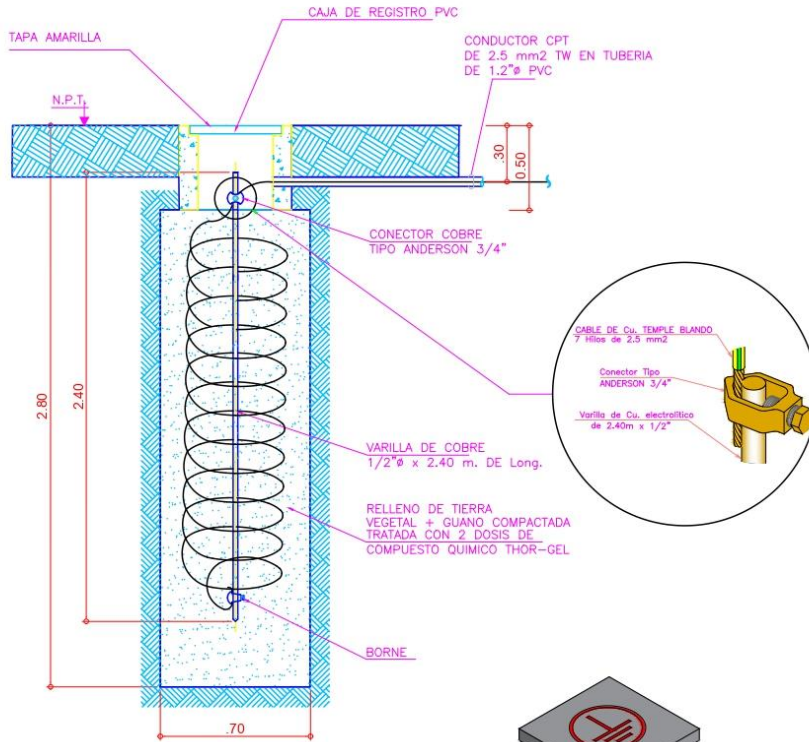
*Consulta con tu asesor comercial.




Anexo 16 Plano del sistema de puesta a tierra del proyecto

POZO A TIERRA DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

$R <= 25 \text{ Ohms}$



**Vista Isométrica
Caja de Registro de
Concreto (40x40x30 cm.)**

| | | |
|--|--|-------------------|
| "RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CIENEGUILLA, CABANA, 2024" "UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA" | | SPT-01 |
| | | ESCALA: INDICADA |
| "ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES" - EPIER | | FECHA: 01-12-2025 |
| Bach. JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI | | UNIDADES: - |
| | | CANTIDAD: 01 |
|  | | NO: |
| DISEÑO: Bach. JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI | DIBUJO: JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI | |
| APROBO: | REVISO: | |

Anexo 17 Presupuesto general del sistema de riego hidropónico con energía fotovoltaica

Página

1

Presupuesto

| | | | | |
|----------------|--------------------------------|---|----------|------------|
| Presupuesto | 070601 | RENTABILIDAD DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON LA APLICACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CIENEGUILLA, CABANA, 2024 | Costo al | 14/12/2025 |
| Subpresupuesto | 001 | INTEGRAL | | |
| Cliente | JAVIER ALEXANDER QUISPE MAMANI | | | |
| Lugar | PUNO - SAN ROMAN - JULIACA | | | |

| Item | Descripción | Und. | Metrado | Precio S/. | Parcial S/: |
|----------|---|------|---------|------------|------------------|
| 01 | SISTEMA INTEGRAL HIDROPONICO | | | | 13,172.06 |
| 01.01 | IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROPONICO | | | | 4,326.30 |
| 01.01.01 | SISTEMA HIDROPONICO | und | 1.00 | 3,762.00 | 3,762.00 |
| 01.01.02 | ACCESORIOS PARA SIST. HIDROPONICO | und | 1.00 | 564.30 | 564.30 |
| 01.02 | SISTEMA DE PREGERMINACIÓN | | | | 1,339.21 |
| 01.02.01 | CHAROLAS DE GERMINACIÓN | und | 1.00 | 418.71 | 418.71 |
| 01.02.02 | SUSTRATO DE GERMINACIÓN | und | 1.00 | 460.50 | 460.50 |
| 01.02.03 | ESTANTERÍA BÁSICA O MESA | und | 1.00 | 350.00 | 350.00 |
| 01.02.04 | ILUMINACIÓN PARA GERMINACIÓN | und | 1.00 | 110.00 | 110.00 |
| 01.03 | SISTEMA DE BOMBEO SOLAR HIBRIDO | | | | 7,268.11 |
| 01.03.01 | SISTEMA FOTOVOLTAICO | und | 1.00 | 1,900.44 | 1,900.44 |
| 01.03.02 | SISTEMA DE PROTECCIÓN DC | und | 1.00 | 243.12 | 243.12 |
| 01.03.03 | SISTEMA DE CONVERSIÓN AC/DC BOMBEO DIRECTO | und | 1.00 | 1,543.31 | 1,543.31 |
| 01.03.04 | SISTEMA DE IMPULSIÓN (MOTOR 0.5 HP) | und | 1.00 | 328.00 | 328.00 |
| 01.03.05 | SISTEMA DE CONEXIONADO | und | 1.00 | 200.63 | 200.63 |
| 01.03.06 | SISTEMA DE PROTECCIÓN AC | und | 1.00 | 206.51 | 206.51 |
| 01.03.07 | SISTEMA DE PUESTA A TIERRA | und | 1.00 | 2,500.00 | 2,500.00 |
| 01.03.08 | ACCESORIOS | und | 1.00 | 346.10 | 346.10 |
| 01.03 | ESTRUCTURAS | | | | 238.44 |
| 01.03.01 | ESTRUCTURAS FOTOVOLTAICAS RUPAC 15G 2400 MM | und | 1.00 | 198.70 | 198.70 |
| 01.03.02 | ACCESORIOS | glb | 1.00 | 19.87 | 19.87 |
| 01.03.03 | PERNERIA | glb | 1.00 | 19.87 | 19.87 |
| 01.03.04 | ESTRUCTURAS PARA SISTEMA HIDROPONICO | und | 1.00 | 450.5 | 450.50 |
| 02 | SISTEMA HIDRAULICO | | | | 211.69 |
| 02.01 | SISTEMA HIDRAULICO INTEGRO | | | | 211.69 |
| 02.01.01 | SISTEMA HIDRAULICO DE ALIMENTACION | und | 1.00 | 156.81 | 156.81 |
| 02.01.02 | ACCESORIOS | und | 1.00 | 54.88 | 54.88 |
| 03 | SERVICIOS DE TRANSPORTE | | | | 450.00 |
| 03.01 | TRANSPORTE | glb | 1.00 | 450.00 | 450.00 |
| | COSTO DIRECTO | | | | 13,833.75 |
| | GASTOS GENERALES | | | | 691.69 |
| | | | | | ===== |
| | SUB TOTAL | | | | 14,525.44 |
| | IGV (18%) | | | | 2,614.58 |
| | | | | | ===== |
| | TOTAL PRESUPUESTO | | | | 17,140.01 |

SON: DIECISIETE MIL CIENTO CUARENTA CON 01/100 NUEVOS SOLES

UNW



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"