



**UPA** Universidad  
Politécnica Amazónica

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA  
DE BOMBEO DE AGUA FOTOVOLTAICO  
PARA RIEGO AGRÍCOLA EN EL CASERÍO  
SAN LORENZO, DISTRITO DE CAJARURO,  
UTCUBAMBA – AMAZONAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**Bach. Carlos Maximiliano Dávila Grandez**

**ORCID: 0000-0002-3048-120X**

**ASESOR:**

**Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez**

**ORCID: 0000-0002-9018-9569**

**Registro: UPA-PITIM0010**

**Bagua Grande – Perú**

**2022**

## **Dedicatoria**

A mis padres por apoyarme incondicionalmente, por sus consejos y dedicación porque a pesar de las dificultades que presenta la vida siempre han sabido enseñarme y sobresalir adelante, este triunfo que he alcanzado también es de ustedes.

Carlos Maximiliano

## **Agradecimiento**

Agradecer a mis profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por brindarme todos sus conocimientos, guiarme para ser una mejor persona y un gran profesional. De manera muy especial agradecer a mi asesor el Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso de la presente tesis.

El autor

## **Autoridades universitarias**

**Rector** : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

**Coordinador de Escuela** : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

### **Visto bueno del asesor**

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, Docente y Coordinador de Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al tesista Carlos Maximiliano Dávila Grandez, en su tesis titulada: “Dimensionamiento de un Sistema de Bombeo de Agua Fotovoltaico para Riego Agrícola en el Caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas”. Asimismo dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en las revisiones previas a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 02 de noviembre del 2022



---

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Asesor

## Jurado evaluador



---

Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

Presidente



---

Mg. Ing. Emilio Periche Chunga

Secretario



---

Mg. Ing. Juan José Castañeda León

Vocal

## Declaración jurada de no plagio

Yo, Carlos Maximiliano Dávila Grandez, identificado con DNI 71821619, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: “Dimensionamiento de un Sistema de Bombeo de Agua Fotovoltaico para Riego Agrícola en el Caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas”.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
6. Se ha respetado las consideraciones éticas en la investigación.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir todas las cargas pecuniarias que pudiera derivarse para la Universidad Politécnica Amazónica en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del cumplimiento de lo declarado, y que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias o sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Bagua Grande, 02 de noviembre del 2022

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Maximiliano Dávila Grandez

DNI 71821619

## Índice

|  |      |
|--|------|
| Dedicatoria.....                           | ii   |
| Agradecimiento.....                        | iii  |
| Autoridades universitarias .....           | iv   |
| Visto bueno del asesor .....               | v    |
| Jurado evaluador.....                      | vi   |
| Declaración jurada de no plagio .....      | vii  |
| Índice de tablas .....                     | xi   |
| Índice de figuras .....                    | xii  |
| RESUMEN .....                              | xiii |
| ABSTRACT .....                             | xiv  |
| I. Introducción .....                      | 1    |
| 1.1 Realidad problemática.....             | 1    |
| 1.2 Formulación del problema .....         | 2    |
| 1.3 Justificación de la investigación..... | 2    |
| 1.3.1 Justificación social.....            | 2    |
| 1.3.2 Justificación ambiental .....        | 2    |
| 1.3.3 Justificación económica.....         | 3    |
| 1.3.4 Justificación científica .....       | 3    |
| 1.4 Hipótesis.....                         | 3    |
| 1.5 Objetivos .....                        | 4    |
| 1.5.1 Objetivo general.....                | 4    |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....          | 4    |
| II Marco teórico .....                     | 5    |
| 2.1 Antecedentes .....                     | 5    |
| 2.1.1 A nivel internacional.....           | 5    |
| 2.1.2 A nivel nacional .....               | 6    |



|   |    |
|---|----|
| 2.1.3 A nivel regional o local.....   | 7  |
| 2.2 Bases teóricas .....  | 8  |
| 2.2.1 Energía solar .....   | 8  |
| 2.2.2 Tecnología fotovoltaica .....   | 8  |
| 2.2.3 Principio de la tecnología de bombeo de agua fotovoltaica. ....                                 | 9  |
| 2.2.4 Configuración del sistema de riego fotovoltaico .....   | 10 |
| 2.2.5 Riego agrícola .....  | 10 |
| 2.3 Definición de términos .....  | 11 |
| III Materiales y métodos .....  | 13 |
| 3.1 Diseño de la investigación.....   | 13 |
| 3.2 Población y muestra .....   | 13 |
| 3.3 Determinación de variables .....  | 14 |
| 3.4 Matriz de operacionalización de variables .....   | 14 |
| 3.5 Fuentes de información .....  | 14 |
| 3.6 Métodos .....   | 15 |
| 3.7 Técnicas e instrumentos .....   | 15 |
| 3.8 Procedimiento.....  | 16 |
| 3.9 Análisis estadístico.....   | 19 |
| 3.10 Consideraciones éticas .....   | 19 |
| IV Resultados.....  | 20 |
| 4.2 Resultados demanda de agua para riego de maíz.....  | 21 |
| 4.3 Resultados de potencia del sistema de bombeo de agua. ....  | 24 |
| 4.3.1 Resultados de energía hidráulica.....   | 25 |
| 4.3.2 Resultados mes más desfavorable .....   | 26 |
| 4.3.3 Resultados energía eléctrica necesaria .....  | 27 |
| 4.4 Resultados de cálculo y selección de componentes del sistema de bombeo de agua fotovoltaico ..... | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.1 Resultados de potencia del generador fotovoltaico .....                                   | 28 |
| 4.4.2 Resultados caudal pico de la electrobomba.....  | 29 |
| 4.4.3 Resultados de cálculo NPSH disponible para la instalación en aspiración .....             | 30 |
| 4.4.4 Resultados selección y justificación de la electrobomba bomba .....                       | 31 |
| 4.4.5 Resultados de cálculo y selección de diámetro de tubería .....                            | 32 |
| 4.4.6 Resultados de selección y justificación del inversor o convertidor de<br>frecuencia. .... | 33 |
| 4.4.7 Resultados selección y justificación sistema generación fotovoltaica .....                | 34 |
| 4.4.8 Resultados de cálculo de conductores eléctricos.....                                      | 36 |
| 4.4.9 Sistemas de protección eléctrica.....   | 37 |
| 4.4.10 Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos. ....                                 | 38 |
| 4.4.11 Esquema del sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado.....                             | 39 |
| 4.5 Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico .....                 | 40 |
| 4.5.1 Valor actual neto .....   | 45 |
| 4.5.2 Tiempo de recuperación.....   | 45 |
| V Discusión .....   | 47 |
| Conclusiones.....   | 50 |
| Recomendaciones .....   | 51 |
| Referencias bibliográficas .....  | 52 |

## Índice de tablas

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1  | Operacionalización de variables e indicadores .....  | 14 |
| Tabla 2  | Radiación diaria promedio, kWh/m <sup>2</sup> /día, 2020 -2021 .....                         | 20 |
| Tabla 3  | Necesidades de agua diaria del maíz durante todo el ciclo vegetativo .....                   | 22 |
| Tabla 4  | Cálculo del cociente entre necesidad de energía e irradiación para el ángulo<br>óptimo ..... | 27 |
| Tabla 5  | Calculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo fotovoltaico .....                   | 37 |
| Tabla 6  | Presupuesto referencial sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado. ....                    | 41 |
| Tabla 7  | Costos anuales de operación y mantenimiento, sistema de bombeo fotovoltaico<br>.....         | 42 |
| Tabla 8  | Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico .....                                   | 42 |
| Tabla 9  | Resultados LCOE del sistema de bombeo fotovoltaico. ....                                     | 44 |
| Tabla 10 | Resultados de evaluación económica para el sistema de bombeo fotovoltaico.<br>.....          | 46 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Interconexión de una celda solar, un módulo y una matriz .....  | 9  |
| Figura 2 Diagrama de bloques de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico CA ..  | 10 |
| Figura 3 Diseño de la investigación .....  | 13 |
| Figura 4 Ubicación del caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro .....   | 16 |
| Figura 5 Detalle del area de la parcela, caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro ...                                       | 17 |
| Figura 6 Procedimiento de cálculo para el dimensionamiento del sistema de bombeo de agua fotovoltaico.....                   | 18 |
| Figura 7 Radiación diaria promedio para el ángulo de inclinación optimo calculado, kWh/m <sup>2</sup> /día, 2020 -2021 ..... | 21 |
| Figura 8 Humedad relativa, y precipitación en la parcela de cultivo .....  | 23 |
| Figura 9 Cotas de captación del agua y punto mas alto de la parcela de maiz .....  | 24 |
| Figura 10 Esquema de bombeo fotovoltaico propuesto para riego agrícola.....  | 25 |
| Figura 11 Curva de funcionamiento bomba centrifuga Pedrollo F50/250C .....   | 32 |
| Figura 12 Configuración del campo solar dimensionado paneles fotovoltaicos .....   | 35 |
| Figura 13 Estructuras de soporte elevada, disposición de los módulos vertical .....  | 39 |
| Figura 14 Topología del sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado.....   | 40 |

## RESUMEN

Los sistemas de bombeo fotovoltaico para riego agrícola, por lo general se utilizan en áreas rurales y regiones donde no hay acceso a la red eléctrica principal. También pueden ser apropiados cuando la red está un poco cerca del sitio, pero su instalación es costosa. Esta investigación tuvo como objetivo dimensionar un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas. En función de la demanda de agua para cultivo de una hectárea de maíz, y la altura de succión e impulsión del sistema, se selecciona y se diseña el sistema de bombeo fotovoltaico. En esta investigación se explica la visión general del sistema solar fotovoltaico desde la evaluación del recurso solar, demanda de agua y de energía hasta el diseño. Se selecciona el tamaño del panel fotovoltaico, electrobomba de superficie, inversor y el conductor. También se calculó los precios de la electricidad, el Costo Nivelado de Energía (LCOE) calculado es 0.517 S/./kWh, para una tasa de descuento del 10 %. La evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico se evaluó para 25 años, tomando un interés para el VAN del 10 % resultó no rentable. Asimismo se evaluó con un interés para el VAN del 9 % resultando rentable, con un VAN de S/. 5043.61 positivo.

**Palabras clave:** Dimensionamiento, sistema bombeo, fotovoltaico, riego agrícola.

## ABSTRACT

Photovoltaic pumping systems for agricultural irrigation are generally used in rural areas and regions where there is no access to the main power grid. They may also be appropriate where the network is somewhat close to the site, but is expensive to install. The objective of this research was to size a photovoltaic water pumping system for agricultural irrigation in the San Lorenzo village, Cajaruro district, Utcubamba - Amazonas. Depending on the water demand for the cultivation of one hectare of corn, and the suction and discharge height of the system, the photovoltaic pumping system is selected and designed. This research explains the general vision of the photovoltaic solar system from the evaluation of the solar resource, water and energy demand to the design. The size of the photovoltaic panel, surface electric pump, inverter and driver are selected. Electricity prices were also calculated, the Levelized Cost of Energy (LCOE) calculated is 0.517 S/./kWh, for a discount rate of 10%. The economic evaluation of the photovoltaic pumping system was evaluated for 25 years, taking an interest for the VAN of 10%, it was not profitable. Likewise, it was evaluated with an interest for the VAN of 9%, resulting profitable, with a VAN of S/. 5043.61 positive.

**Keywords:** Dimensioning, pumping system, photovoltaic, agricultural irrigation.

## I. Introducción

### 1.1 Realidad problemática

El bombeo de agua en todo el mundo depende generalmente de electricidad nacional o electricidad generada por diésel. El bombeo de agua solar minimiza la dependencia de la electricidad a base de diésel, gas o carbón. El uso de sistemas de bombeo de agua a base de diésel o propano no solo requiere combustibles costosos, sino que también genera ruido y contaminación del aire. El costo inicial general, el costo de operación y mantenimiento, y el reemplazo de una bomba diésel son de 2 a 4 veces más altos que una bomba solar fotovoltaica. Los sistemas de bombeo solar son amigables con el medio ambiente y requieren poco mantenimiento sin costo de combustible (Chandel et al., 2015).

Tradicionalmente, las bombas diésel se usaban para bombear agua de riego y ganado, la mayoría de las cuales ahora han sido reemplazadas por bombas eléctricas conectadas a la red. La contribución del consumidor a la expansión de la red de distribución eléctrica de su finca es mínima. Sin embargo, el consumidor debe pagar por el cable eléctrico necesario para ampliar la red de distribución. Muchas áreas tienen instalaciones ubicadas lejos del sistema de distribución eléctrica, por lo que usar electricidad solar para bombear agua es una solución atractiva en este caso (Al-Badi et al., 2018).

El agua y la energía son los principales factores de la producción agrícola y el mundo se enfrenta a una gran crisis hídrica y energética. De manera similar, la generación de energía fotovoltaica se ha convertido en una respuesta natural a la creciente demanda de energía en la agricultura y ha recibido una atención considerable como sustituto de los combustibles fósiles (Bermeo y Silva, 2022).

Actualmente, la escasez de electricidad en el caserío San Lorenzo es una barrera importante para el desarrollo local y regional. La agricultura es el sector más afectado debido al hecho de que casi todos los pobladores dependen de él y el sistema de riego se vuelve costoso como resultado de la falta de bombas eléctricas. El precio del combustible diésel utilizado principalmente en las bombas se vuelve más alto. El uso de diésel no solo se vio en términos de costo sino también en términos de perspectiva ambiental según la cual las emisiones de

CO<sub>2</sub> liberadas tienen un impacto negativo en el medio ambiente y la vida de las personas en general. Además, se debe seleccionar la mejor opción de muchas configuraciones disponibles de tecnologías, con almacenamiento en tanque, con almacenamiento en batería y directamente conectadas al riego, es un problema que debe abordarse. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía viable para el propósito por cumplir con las condiciones y requisitos necesarios para nuestro estudio en el cual la energía solar fotovoltaica será usada como fuente generadora de energía eléctrica para accionar las bombas de agua.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Se podrá dimensionar un sistema de bombeo fotovoltaico para satisfacer la demanda de agua para el riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas?

## **1.3 Justificación de la investigación**

### **1.3.1 Justificación social**

La tecnología para el bombeo agua solar supera todas las expectativas y seguirá siendo una opción viable para que más y más usuarios del caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro cuenten con un sistema de bombeo fotovoltaico a medida que aumentan sus capacidades, confiabilidad y versatilidad, mientras que los costos disminuyen.

### **1.3.2 Justificación ambiental**

El dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola, en cultivo de maíz logrará la disminución de los gases contaminantes producidos por las motobombas empleadas en el sistema de riego, ya que aprovechará la radiación solar para poder generar energía eléctrica. Los sistemas de bombeo fotovoltaico están siendo promovidos por los organismos internacionales que se preocupan por el medio ambiente, ejecutar este tipo de investigación actualmente que se está concientizando a la población con respecto al cuidado



del medio ambiente es el principal objetivo de la sociedad actual. Asimismo, el bombeo de agua en el área del proyecto muchas veces se realiza mediante motores de combustión interna, los cuales emiten gases tóxicos al quemar combustible, además, el manejo inadecuado de las reservas de combustible también provoca la contaminación del suelo cuando el motor está cargado. Considerando esta problemática, se propone utilizar energía solar fotovoltaica para el bombeo de agua para riego agrícola.

### **1.3.3 Justificación económica**

Se justifica económicamente, ya que una de las ventajas importantes es el insignificante costo de operación de la bomba. Dado que no se requiere combustible para la bomba, como gasolina o diésel, el costo operativo es mínimo. Un sistema de bombeo solar bien diseñado requiere poco mantenimiento más allá de la limpieza de los paneles.

### **1.3.4 Justificación científica**

La investigación utiliza un enfoque técnico y una contribución metodológica para resolver problemas sociales de riego agrícola con características similares en pueblos remotos de países en desarrollo, donde la expansión de la electricidad centralizada todavía no llega o es costosa su instalación. También tiene fundamentos teóricos, pues hoy en día la humanidad enfrenta muchos interrogantes sobre la sustentabilidad de nuestro estilo de vida debido a la creciente necesidad de agua y energía eléctrica. Por lo tanto, es necesario cambiar la forma en que consumimos nuestros recursos energéticos.

## **1.4 Hipótesis**

Se puede dimensionar un sistema de bombeo fotovoltaico para satisfacer la demanda de agua para el riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Dimensionar un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la radiación solar en el caserío San Lorenzo.
- Determinar la demanda de agua para riego de maíz en el caserío San Lorenzo.
- Determinar la potencia del sistema de bombeo de agua para riego de maíz en el caserío San Lorenzo.
- Calcular y selección de los componentes del sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego de maíz para el caserío San Lorenzo.
- Evaluar económicamente el sistema de bombeo fotovoltaico

## II Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 A nivel internacional

Sado et al. (2018) en su artículo “Diseño de un sistema de bomba de agua de corriente continua con energía fotovoltaica para riego: Un estudio de caso”. Tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de riego automático con energía fotovoltaica. En este estudio se consideran los factores dominantes del sistema, como el efecto de la radiación solar sobre la potencia del motor, la corriente y la descarga de agua. El sistema propuesto se implementa en el campo para regar la planta de maíz, considerando el ángulo de inclinación óptimo para la ciudad de Duhok, Irak. Se presenta un nuevo método para medir el contenido de humedad en el suelo y el nivel suficiente de humedad necesario para el crecimiento normal del cultivo para diseñar un temporizador para que el sistema reduzca la cantidad de agua desperdiciada. Los sensores de humedad se utilizan para comprobar la disponibilidad de agua en el suelo y permitir que el microcontrolador controle el estado de funcionamiento de la bomba. Los resultados muestran que el método de riego propuesto es más preciso y eficiente que los métodos de riego convencionales en términos de la cantidad de agua utilizada para el riego y la precisión de los tiempos de riego en función del clima local cambiante. Los resultados demuestran que el sistema propuesto es una forma de riego más rentable y más respetuoso con el medio ambiente en términos de la cantidad de agua utilizada en un área conocida por la escasez de agua.

Valenzuela (2021) en su tesis “Diseño de sistema de riego solar off grid para pequeños agricultores de la comunidad Atacameña de Peine, Región de Antofagasta”. El objetivo principal de este proyecto es diseñar un sistema de riego por goteo para el riego de maíz, en un área de 900 m<sup>2</sup>. El estudio realizado se basa principalmente en proponer dos sistemas de riego fotovoltaico para el cultivo de maíz en una área para la zona de Peine, pueblo atacameño ubicado en la zona precordillerana del Desierto de Atacama, II región de Antofagasta. Gracias a su ubicación y características climáticas con cielos limpios y despejados la mayor parte del año, se considera en la actualidad uno de los lugares con mayor potencial para el uso de sistemas fotovoltaicos ya que cuenta con una elevada radiación solar. Se recogieron datos de la climatología de la zona, como temperatura, radiación solar, horas de sol pico, tipos de suelo

y cultivo, para poder obtener los requerimientos hídricos necesarios para el cultivo de maíz en la zona. En base a los requerimientos hídricos obtenidos, se realizó el diseño de un sistema de riego por goteo, seleccionando los accesorios y equipo necesario para el correcto funcionamiento del sistema. Se efectuaron los cálculos necesarios para la selección de una bomba solar, y para escoger un equipo fotovoltaico apropiado para accionar esta bomba, estableciendo también la inclinación necesaria de los paneles para el mejor aprovechamiento de la radiación solar. Finalmente, se calcularon los costos de instalación de los dos sistemas propuestos para obtener un presupuesto aproximado de cuánto costaría establecer un sistema de riego fotovoltaico en la zona de estudio.

### **2.1.2 A nivel nacional**

Bermeo y Silva (2022) en su tesis “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro Poblado Puerto Tamborapa, distrito de Chirinos -San Ignacio”. Tiene como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro Poblado Puerto Tamborapa, para cultivo de maíz. La metodología que utilizaron es de tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptiva y un diseño de investigación campo gabinete. Determinaron la radiación solar en la zona de estudio con datos obtenidos de la NASA, y la potencia del sistema de bombeo para lo cual primeramente determinaron la demanda hídrica y la altura manométrica total. Luego dimensionaron cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico y cálculos de producción de energía. Por otra parte realizaron una simulación del sistema de bombeo fotovoltaico con la herramienta de simulación SISIFO, que permitió seleccionar los componentes y simular parámetros de producción energética, y comparar con los cálculos teóricos. Finalmente la evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico resultó rentable con un VAN de S/. 7933.12 positivo y un TIR de 12 %, con un largo periodo de recuperación (15 años); se consideró un LCOE calculado de 0.67 S/./kWh, interés sobre el VAN de 10 %, vida útil 20, y costo de reinversión (año 10) de S/.11500.00 para el inversor y la bomba.

Dávalos (2019) en su tesis “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para una hectárea de riego agrícola en el caserío la Guayaba, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén – Cajamarca”. Tiene como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para una hectárea de riego agrícola en el caserío la Guayaba, para cultivo de yuca. Muestra la evaluación del

recurso solar disponible para diferentes ángulos de inclinación con datos obtenidos de la NASA, obteniendo como resultado 3.71 kWh/m<sup>2</sup>/día de radiación solar y un ángulo óptimo (7.5°). También presenta la demanda hídrica de 40 m<sup>3</sup>/día, requirió 3117.4 Wh/día de energía hidráulica. La elección de la motobomba se realizó en función al caudal pico y la altura total, seleccionando una motobomba solar de corriente continua modelo PS1800 C-SJ8-7. Se seleccionaron 16 paneles fotovoltaicos del tipo LC100-M36, 8 paneles en serie y 2 en paralelo para satisfacer la potencia de generación de 1.72 kW. La evaluación económica resultó con un VAN de \$ 15 976.67 y un TIR de 9 %.

### **2.1.3 A nivel regional o local**

En la zona de estudio no se cuenta con proyectos de sistemas de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola para cultivo de maíz. Se tiene referencia de proyectos de bombeo de agua fotovoltaico para cultivo de otras plantaciones como el cultivo de café.

Herrera y Vera (2020) en su tesis “Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro poblado Roblepampa, Utcubamba - Amazonas”. Tiene como objetivo dimensionar un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro poblado Roblepampa, para cultivo de café. Con datos de la NASA determinaron el mes de dimensionado febrero que dispone en promedio de 3.68 kWh/m<sup>2</sup>/día, y una inclinación óptima (7.88°). La energía hidráulica resultó 0.96 kWh/día, y una altura total equivalente de 11 m, la potencia para el generador es 1.03 kW. El generador fotovoltaico de bombeo requiere 9 paneles de 135 Wp conectados en serie; 01 Controlador Solar SubDrive, 1.1 kW; y 01 electrobomba centrífuga solar sumergida marca Pedrollo, modelo 4SR75Gm/15, monofásica, 1.1 kW, 60 Hz, y 3450 Rpm, caudal pico de la bomba de 20.66 m<sup>3</sup>/h. La evaluación económica con respecto a un sistema de generación a gasolina, resultó un VAN de S/. 8 979.37 positivo, y TIR del 18.20 %, y el tiempo de recuperación de 08 años, para un interés del VAN del 10 % y vida del proyecto 20 años.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Energía solar**

La energía solar es la fuente de energía más abundante del mundo. La energía solar no es solo una respuesta a la crisis energética actual, sino también una forma de energía respetuosa con el medio ambiente. La generación fotovoltaica es un enfoque eficiente para el uso de la energía solar. Los paneles solares (un conjunto de celdas fotovoltaicas) ahora se usan ampliamente para hacer funcionar el alumbrado público, para alimentar calentadores de agua y para satisfacer las cargas domésticas. El costo de los paneles solares ha disminuido constantemente, lo que fomenta su uso en varios sectores. Una de las aplicaciones de esta tecnología se utiliza en los sistemas de riego para la agricultura. El sistema de riego con energía solar puede ser una alternativa adecuada para los agricultores en el estado actual de crisis energética en la India. Esta es una forma ecológica de producción de energía que proporciona energía gratuita una vez que se realiza una inversión inicial (Shinde y Wandre, 2015).

### **2.2.2 Tecnología fotovoltaica**

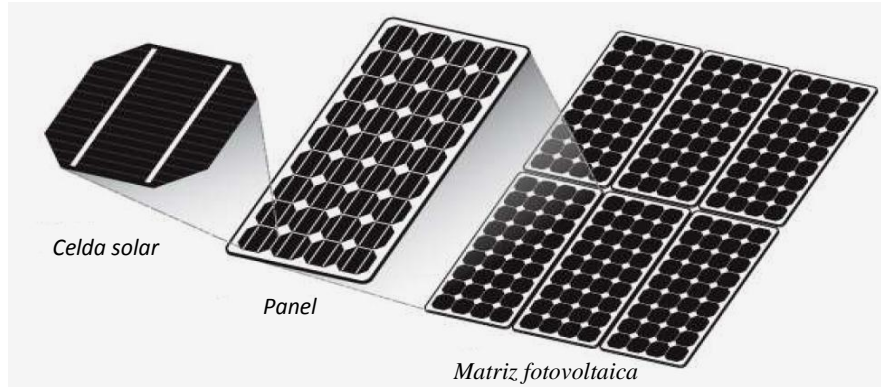
Las células fotovoltaicas son dispositivos semiconductores que generan energía eléctrica al permitir que los fotones eliminen electrones de una red molecular, dejando un electrón libre y un par de "agujeros" que se difunden en un campo eléctrico para separar los contactos. Los materiales utilizados actualmente para las células fotovoltaicas son silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, telururo de cadmio y seleniuro/sulfuro de cobre, indio y galio. Los tipos más comunes de sistemas fotovoltaicos son las células de silicio mono o policristalino y las células solares de película delgada. El silicio puro se usa para producir sistemas monocristalinos o policristalinos y el precio del sistema es más alto que los sistemas de película delgada. Esto lleva a que el sistema de película delgada se utilice con más frecuencia que los sistemas mono y policristalinos (Jiao et al., 2016).

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que convierten la radiación solar en energía eléctrica. Los paneles solares fotovoltaicos están formados por células fotovoltaicas. Los paneles solares fotovoltaicos están conectados en serie o en paralelo, formando un conjunto solar fotovoltaico, para entregar un voltaje y corriente específicos bajo un cierto nivel de

irradiación (Jiao et al., 2016). La Figura 1, ilustra la interconexión de células solares fotovoltaicas y módulos solares fotovoltaicos que conducen a la formación de un conjunto.

### **Figura 1**

*Interconexión de una celda solar, un módulo y una matriz*



*Nota.* Adecuado de (Jiao et al., 2016).

### **2.2.3 Principio de la tecnología de bombeo de agua fotovoltaica.**

Según Chilundo et al. (2018), estudios de literatura de sistemas de bombeo fotovoltaico, se puede clasificar según la fuente de energía que impulsa el sistema. Por tanto, se consideran cinco tipos de sistemas de bombeo: 1) Sistemas de bombeo fotovoltaicos; 2) Sistemas de bombeo de viento; 3) Sistemas de bombeo conectados a la red eléctrica convencional; 4) Sistemas de bombeo accionados por motores de combustión interna; 5) Sistemas de bombeo manual.

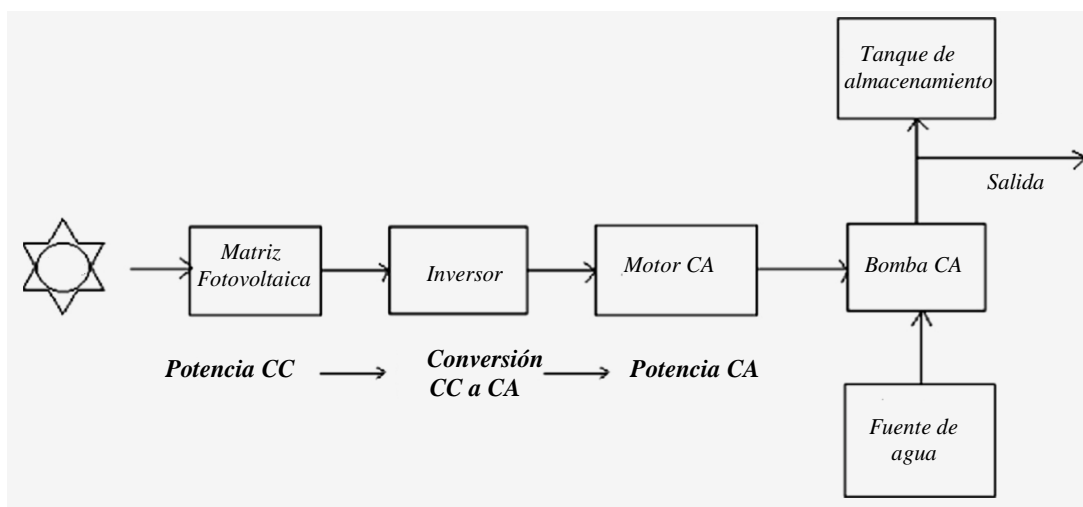
En algunos casos, debido al carácter intermitente de algunas fuentes o la complejidad de cada sistema, se pueden adoptar fuentes híbridas (una combinación de dos o más fuentes). La tecnología solar fotovoltaica aplicada a sistemas de bombeo fotovoltaico se basa en la conversión de energía solar en energía eléctrica mediante paneles solares para alimentar una bomba de agua. Los paneles fotovoltaicos están conectados a un motor de CC o CA que convierte la energía eléctrica recibida de los paneles en energía mecánica y, posteriormente, se convierte en energía hidráulica (Chilundo et al., 2018).

## 2.2.4 Configuración del sistema de riego fotovoltaico

El uso de sistemas de riego fotovoltaicos es ideal en áreas remotas que no tienen conexión a la red eléctrica. Existen dos métodos principales para almacenar la energía generada por un sistema de bombeo de agua fotovoltaico, a saber, los sistemas de bombeo de agua solar accionados directamente y acoplados a batería. En la Figura 2, se muestra un diagrama de bloques de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico de corriente alterna.

**Figura 2**

*Diagrama de bloques de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico CA*



*Nota.* Adecuado de (Chandel et al., 2015).

En referencia a los inversores en el sistema de potencia, sería ideal si los sistemas de energía solar operaran directamente con energía de CC. El problema es que hay dispositivos de CC limitados disponibles o, si están disponibles, a menudo son más caros que los dispositivos de CA. Los paneles solares fotovoltaicos producen energía de CC y, por lo general, los motores que se unen a una bomba necesitan energía de CA, por lo que los inversores se utilizan para cambiar la electricidad de CC a electricidad de CA. La eficiencia de conversión de los inversores al convertir electricidad de CC a CA es del 80 al 90 % (Jiao et al., 2016).

## 2.2.5 Riego agrícola

El riego es el suministro de agua a los cultivos por medios artificiales. Está diseñado para permitir el crecimiento deseado de las plantas en regiones áridas y para compensar la sequía en regiones semiáridas o subhúmedas. Incluso en áreas donde la precipitación estacional



promedio puede parecer abundante, las lluvias con frecuencia se distribuyen de manera desigual o los suelos tienen una capacidad de retención de agua baja. El riego proporciona un medio para la producción estable de alimentos. En algunas áreas, el riego prolonga la temporada de crecimiento efectiva con la seguridad proporcionada por el riego, insumos adicionales como variedades de mayor producción, fertilizantes adicionales, un mejor control de plagas y una mejor labranza se vuelven económicamente viables. El riego reduce de que estos costosos insumos se desperdicien por la sequía (Area et al., 2021).

El riego es la principal causa del consumo de agua en agricultura. Contribuye a aumentar la productividad de los cultivos, pero también es una amenaza para la conservación de los recursos hídricos. Por lo tanto, el tema de la escasez de agua requiere una cuidadosa reflexión sobre la compensación entre la mayor productividad agrícola y el deterioro de los recursos hídricos. Una serie de elementos determinan la cantidad de agua de riego utilizada en la agricultura, desde los tipos de cultivo y método de cultivo a las características del suelo y la técnica de riego. Por lo tanto, la agricultura en sí ofrece oportunidades para una mejor gestión del agua y ahorro de agua, tanto a través de prácticas agrícolas tradicionales como de nuevas tecnologías agrícolas (European Parliamentary Research Service (EPRS), 2019).

El maíz es uno de los cereales más importantes para el consumo humano y animal, como grano y forraje. El rendimiento medio, de 6 a 9 ton.ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego, se considera aceptable desde la óptica de la producción comercial, bajo una condición del contenido de humedad del grano de 10 a 13 %. Entre los cereales, el maíz es un cultivo eficiente en el uso del agua en términos de la producción total de materia seca y aprovecha es el grano con mayor rendimiento (Zamora-Salgado et al., 2011).

## **2.3 Definición de términos**

### **Diseño del sistema**

El diseño del sistema es el proceso de evaluación las clasificaciones de voltaje y corriente adecuadas para cada componente del sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda eléctrica en la instalación, y al mismo tiempo calcular el precio total de todo el sistema desde la fase de diseño hasta el sistema completamente funcional, incluido el transporte y la mano de obra (Al-shamani et al., 2013).

### **Generador fotovoltaico**

El generador fotovoltaico de una bomba solar consta de módulos fotovoltaicos conectados en combinación serie y paralelo según el requerimiento de voltaje del motor. Un módulo fotovoltaico consta de células solares que convierten la radiación solar en electricidad directa (Chandel et al., 2015).

### **Bombas solares**

Las bombas de agua solares se clasifican según el voltaje suministrado y requieren accesorios como filtros, válvulas de flotador, interruptores, etc. para funcionar de manera óptima. Las bombas solares están fabricadas con acero inoxidable y bronce de grado marino de alta calidad y bajo contenido de plomo y están diseñadas para un servicio libre de corrosión y mantenimiento incluso en entornos hostiles con un rendimiento y confiabilidad a largo plazo (Chandel et al., 2015).

### **Conjunto motor/bomba**

Existen dos tipos diferentes de conjuntos motor/bomba. Uno es un conjunto de motor/bomba de CC y el otro tipo es un motor/bomba de CA con inversor (Haque, 2001).

### **Inversor**

Se utiliza un inversor monofásico para convertir el voltaje de salida de CC de los paneles fotovoltaicos en un nivel de voltaje de CA adecuado para hacer funcionar el motor de CA (Haque, 2001).

### **Riego agrícola**

El riego es el suministro de agua a los cultivos por medios artificiales. Está diseñado para permitir el crecimiento deseado de las plantas en regiones áridas y para compensar la sequía en regiones semiáridas o subhúmedas (Area et al., 2021).

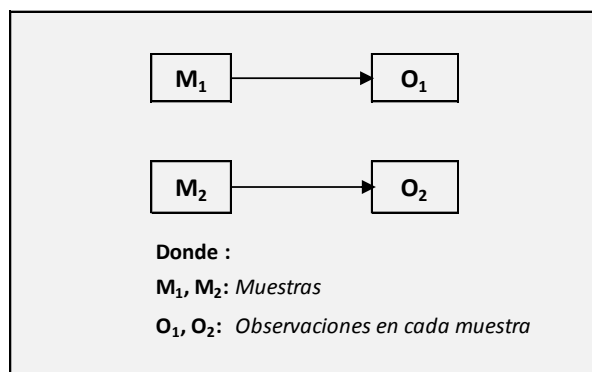
### III Materiales y métodos

#### 3.1 Diseño de la investigación

Constituye el plan metodológico o estratégico del investigador para responder a las preguntas o comprobación de las hipótesis de investigación (operacionalización). Es la estructura en que las variables y los sujetos han sido organizados con el fin de recoger los datos para responder a las preguntas de la investigación. El diseño es la transformación de las preguntas y la hipótesis de investigación en las estrategias para: seleccionar a los participantes, aplicar el tratamiento, utilizar los instrumentos de medición, recoger los datos, etc (Salome y Panduro, 2020). En referencia a los objetivos planteados, el diseño fue no experimental. El estudio se aplica al nivel de investigación descriptiva.

**Figura 3**

*Diseño de la investigación*



*Nota.* Adecuado de (Salome y Panduro, 2020).

#### 3.2 Población y muestra

La población, es el conjunto de sujetos, infraestructuras, equipos, herramientas e incluso material audiovisual de los que se desea conocer algo en una investigación. Por otra parte la muestra, es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. La muestra es una parte representativa de la población (Gonzales, 2021; López, 2004). Para el proyecto la población y muestra serán datos de recurso hídrico en la parcela de

cultivo de maíz, y la radiación solar en resolución mensual para los últimos años. La muestra es igual que la población; por otra parte el muestreo es no probabilístico a conveniencia del investigador.

### 3.3 Determinación de variables

- **Variable dependiente.**  
Riego agrícola
- **Variable independiente.**  
Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico

### 3.4 Matriz de operacionalización de variables

La operacionalización de variables, tomando en cuenta el problema y la posible solución, se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables e indicadores*

|                    | <b>Variables</b>                                      | <b>Dimensiones</b> | <b>Indicadores</b>  | <b>Escala</b>        |
|--------------------|---|--------------------|---|----------------------|
| <b>Dependiente</b> | Riego agrícola  | Recurso hídrico    | Caudal (m <sup>3</sup> /h)<br>Área de cultivo (m <sup>2</sup> , hectárea) | De razón<br>De razón |
|                    | Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico | Recurso solar      | Radiación solar (kWh/m <sup>2</sup> /día)                                 | De razón             |
|                    |   | Demanda de energía | Energía del sistema de bombeo (kWh/día)                                   | De razón             |

### 3.5 Fuentes de información

La fuente de información primaria, se basan en materiales originales en los que se basan otras investigaciones; y las fuentes secundaria en la interpretación, comentario o análisis de otras fuentes. Para la investigación la recolección de datos de campo, son área de la parcela, datos de altura de succión e impulsión en sistema de bombeo, distribución de equipos, áreas para la colocación de los paneles fotovoltaicos. Así mismo para el trabajo en gabinete

(formulación, cálculos y dimensionamiento), se obtuvo datos de recurso hídrico (caudal diario), y radiación solar disponibles del aplicativo de la NASA.

### **3.6 Métodos**

Un método deductivo es una forma de razonamiento que parte de verdades universales para sacar ciertas conclusiones. En la investigación científica, este método tiene la doble función de cubrir resultados desconocidos a partir de principios conocidos método deductivo en oposición al método inductivo. Los métodos inductivos, por otro lado, son inferencias en las que las leyes se derivan del análisis de un solo hecho. Es decir, comenzamos descomponiendo el ejemplo concreto en varias partes y luego sacamos conclusiones. Asimismo el método analítico, es un método que diferencia las partes de un todo y procede con un estudio sistemático de cada elemento individual; este método es útil cuando se realiza un trabajo de investigación científica documental, que consiste en un examen por separado de todos los materiales necesarios para la investigación. Por otra parte el método sintético, es el que analiza y sintetiza la información recopilada, lo que permite estructurar las ideas (Maya, 2014).

De las afirmaciones anteriores, el método inductivo primero ve el problema, para la investigación el problema es riego agrícola, la conclusión puede ser afirmativa que la situación conduce a un resultado definido. El análisis y síntesis consiste en separar el objeto de estudio en sus componentes para conocer la naturaleza del fenómeno, sus causas y consecuencias, así como las características específicas del funcionamiento de las partes del sistema de bombeo fotovoltaico.

### **3.7 Técnicas e instrumentos**

Las fichas de observación permiten al investigador registrar la situación o los eventos observados durante la investigación. Los investigadores a menudo deben usar cámaras de video para registrar eventos que no son fácilmente visibles. También está el análisis de documentos, donde el investigador recopila información de cuadros, informes, etc. No es necesaria la revisión estadística del caso por expertos (Gonzales, 2021). Los datos obtenidos se basan en información de datos de recurso hídrico en la parcela, y irradiancia solar durante los últimos

años obtenidos de la NASA, utilizando un muestreo no probabilístico. Para la investigación se utilizó las técnicas de observación y análisis documental.

- Técnicas de observación: Instrumento guías de observación.
- Técnica de análisis de documentos: Instrumento como guías de análisis de documentos (artículos, tesis, datos NASA).

### 3.8 Procedimiento

#### a) Localización geográfica

El caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, está ubicado en la provincia de Utcubamba, región Amazonas; a una altitud de 881 metros sobre el nivel del mar; longitud -78.23905 O y latitud -5.78745 S. De acuerdo al reporte de la NASA se tiene temperaturas mínima promedio de 14.93 °C, y temperaturas máxima promedio de 33.32° C. En la Figura 4, se muestra la ubicación del caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro.

**Figura 4**

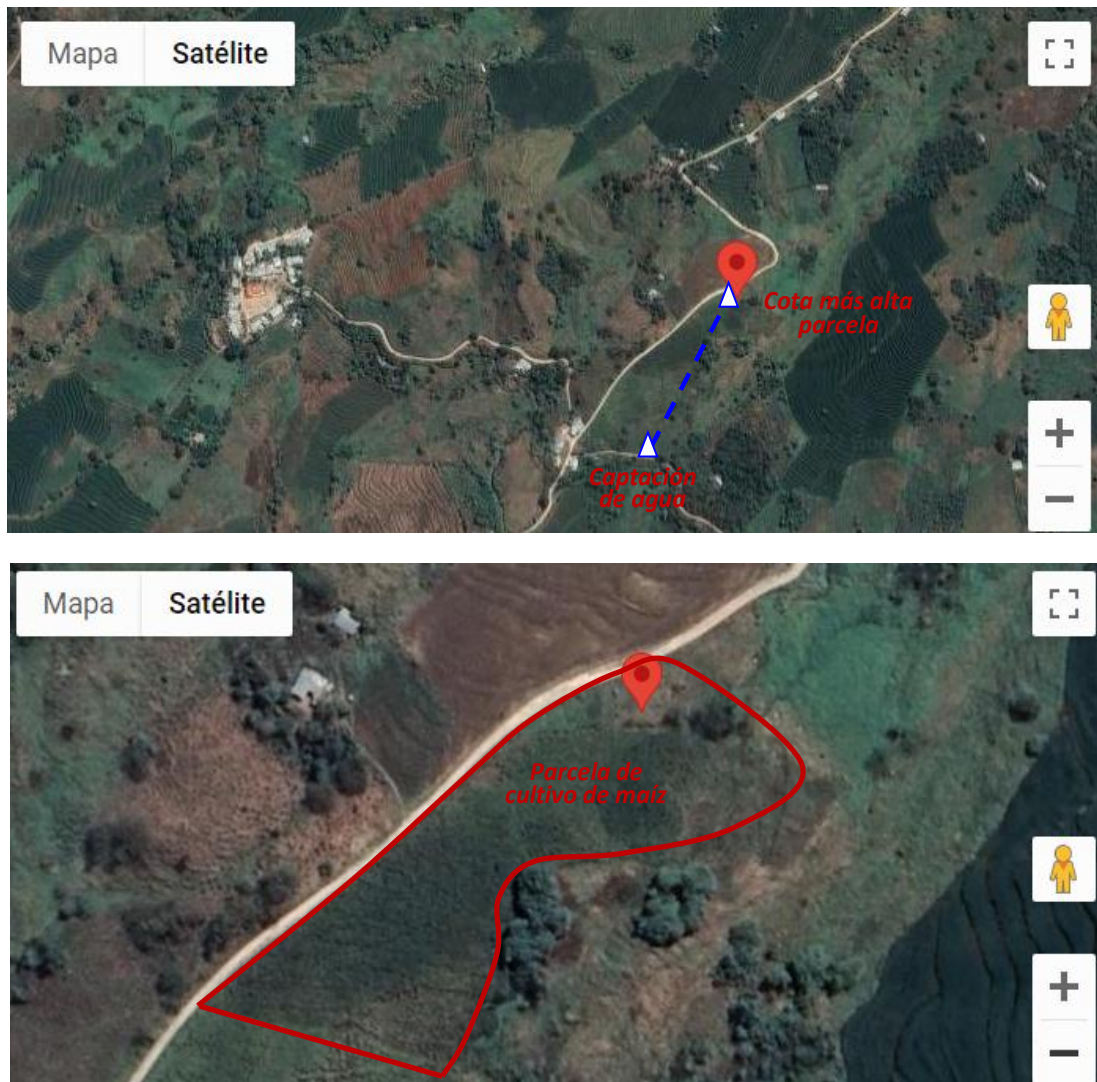
*Ubicación del caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro*



*Nota.* Muestra la ubicación del caserío San Lorenzo.

**Figura 5**

*Detalle del área de la parcela, caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro*



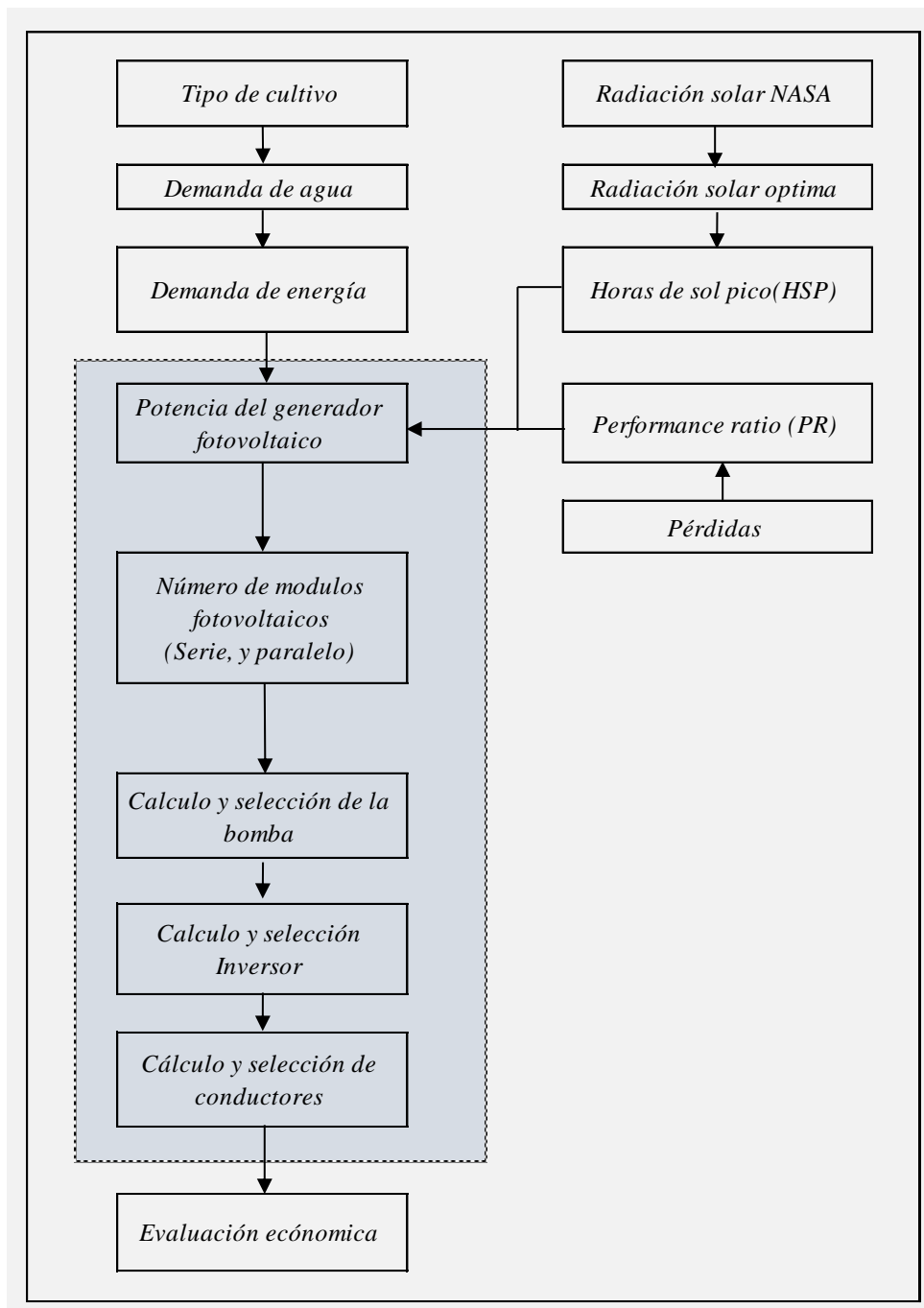
*Nota.* Muestra detalle del área de la parcela, y puntos de captación de agua y cota más alta de la parcela

**b) Procedimiento de cálculo el sistema de bombeo de agua fotovoltaico**

Para el dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, se tomó en cuenta los objetivos planteados, para el cálculo y selección de los componentes se desarrolló el procedimiento y metodología de la Figura 6.

**Figura 6**

*Procedimiento de cálculo para el dimensionamiento del sistema de bombeo de agua fotovoltaico.*



*Nota.* Muestra el procedimiento de cálculo de acuerdo a objetivos planteados.



### **3.9 Análisis estadístico**

Para el análisis de datos y procesamiento de tablas se utilizó la herramienta Excel y software de análisis estadístico. Las etapas del análisis de datos cuantitativos incluyen las variables de las hipótesis presentadas, construcción de bases de datos, procesamiento de datos con funciones de tabla, lectura y análisis de datos, interpretación de datos. Luego la interpretación de la resultados de la investigación.

### **3.10 Consideraciones éticas**

Se consideraron las directrices éticas internacionales para la investigación. La tesis está libre de plagio en todo o en parte y se adhiere a los estándares internacionales de citas y bibliografías de las fuentes referidas. Asimismo, no infringe los derechos de terceros.

## IV Resultados

### 4.1 Resultados de evaluación de radiación solar

Tomando en cuenta las coordenadas, longitud  $-78.23905$  O y latitud  $-5.78745$  S, se recopilaron datos de radiación solar para la zona estudio de la página de la NASA (consultado el 16 de octubre del 2022), que corresponde a una parcela de cultivo de maíz, en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, en la región Amazonas. Así mismo de acuerdo al reporte de la NASA se tiene temperaturas promedio de  $17.73$  °C.

Dependiendo de la ubicación, los sistemas fotovoltaicos deben tener un ángulo de inclinación para facilitar la autolimpieza y evitar que elementos como hojas y polvo cubran los paneles (Mejía, 2019). El ángulo de inclinación del campo fotovoltaico se determinó con la Ecuación (1). Como resultado se obtuvo que el ángulo óptimo de inclinación calculado es de  $7.6933^\circ$ , para una latitud del lugar de  $-5.7874$ .

$$\beta_{op.} = 3.7 + 0.69 \times |\phi| \quad (1)$$

Donde

$\beta_{op.}$  ángulo óptimo de inclinación, y  $|\phi|$  latitud.

**Tabla 2**

*Radiación diaria promedio, kWh/m<sup>2</sup>/día, 2020 -2021*

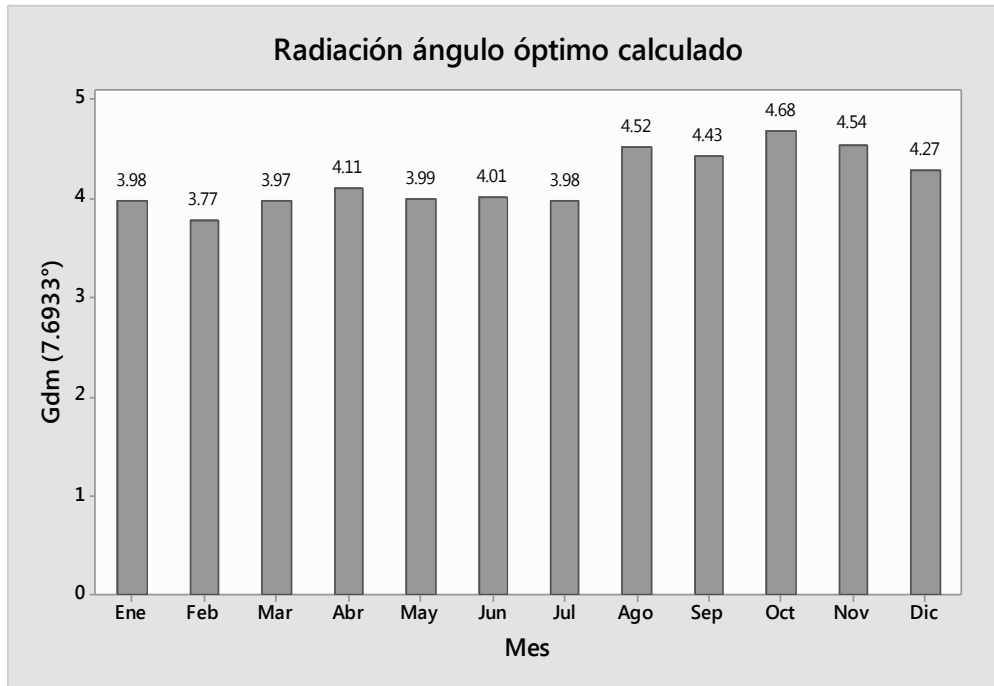
| Mes | $G_{dm}$<br>( $0^\circ$ ) | $G_{dm}$<br>( $5.7874^\circ$ ) | $G_{dm}$<br>( $7.6933^\circ$ ) | $G_{dm}$<br>( $9.2126^\circ$ ) | $G_{dm}$<br>( $20.7874^\circ$ ) | $G_{dm}$<br>( $90^\circ$ ) |
|-----|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Ene | 4.09                      | 4.01                           | 3.98                           | 3.96                           | 3.69                            | 1.49                       |
| Feb | 3.83                      | 3.79                           | 3.77                           | 3.76                           | 3.58                            | 1.46                       |
| Mar | 3.99                      | 3.98                           | 3.97                           | 3.97                           | 3.85                            | 1.59                       |
| Abr | 4.07                      | 4.10                           | 4.11                           | 4.11                           | 4.08                            | 2.02                       |
| May | 3.88                      | 3.97                           | 3.99                           | 4.00                           | 4.06                            | 2.29                       |
| Jun | 3.87                      | 3.98                           | 4.01                           | 4.03                           | 4.14                            | 2.53                       |
| Jul | 3.85                      | 3.96                           | 3.98                           | 4.00                           | 4.09                            | 2.43                       |
| Ago | 4.41                      | 4.5                            | 4.52                           | 4.54                           | 4.58                            | 2.36                       |
| Sep | 4.41                      | 4.43                           | 4.43                           | 4.43                           | 4.35                            | 1.79                       |
| Oct | 4.74                      | 4.70                           | 4.68                           | 4.67                           | 4.46                            | 1.55                       |
| Nov | 4.65                      | 4.57                           | 4.54                           | 4.52                           | 4.23                            | 1.61                       |
| Dic | 4.40                      | 4.30                           | 4.27                           | 4.25                           | 3.94                            | 1.60                       |

*Nota.* Datos NASA (2020-2021).

La radiación para el ángulo óptimo de  $7.693^\circ$  se interpoló entre los ángulos de  $5.7874^\circ$  que corresponde a la latitud de la zona, y  $9.2126^\circ$  obtenidos del aplicativo de la NASA. Los resultados de radiación solar para el ángulo óptimo calculado se muestran en la Figura 7.

**Figura 7**

*Radiación diaria promedio para el ángulo de inclinación óptimo calculado, kWh/m<sup>2</sup>/día, 2020 -2021*



*Nota.* Datos NASA (2020-2021).

Para el diseño del sub sistema de generación fotovoltaica se tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima calculada ( $7.693^\circ$ ) que resultó  $3.77 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ .

#### **4.2 Resultados demanda de agua para riego de maíz**

El estrés hídrico ocurre ante la ausencia de lluvia y riego, y cuando el agua almacenada en la zona radicular se agota a tal punto que afecta los procesos de la planta (Steduto et al., 2012). Las necesidades de agua diarias del cultivo de maíz, corresponden con la vapotranspiración de dicho cultivo (ETc); estas se expresan en mm de agua al día, lo que

corresponde a litros/m<sup>2</sup> (Bermeo y Silva, 2022; Ortega y Diez, 2013). Las necesidades de agua diaria del maíz durante todo el ciclo vegetativo se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Necesidades de agua diaria del maíz durante todo el ciclo vegetativo*

| <b>Etapas</b> | <b>Coefficiente de cultivo (Kc)</b>  | <b>Días</b> | <b>Necesidades de agua diarias (mm/día)= litros/m<sup>2</sup></b> |
|---------------|--|-------------|---|
| Primera etapa | Kc1 : Siembra hasta que el cultivo cubre un 10 % del suelo                                       | 5           | 1.64  |
|               |  | 25          | 2.01  |
| Segunda etapa | Kc2: Desde final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre la máxima superficie del suelo. | 7           | 4.03  |
|               |  | 30          | 4.64  |
| Tercera etapa | Kc3: Desde la floración y la formación del fruto, hasta la maduración                            | 18          | <b>6.89</b>   |
|               |  | 31          | 6.59  |
| Cuarta etapa  | Kc4: Desde la maduración hasta la recolección  | 11          | 5.36  |
|               |  | 19          | 3.26  |
|               |  | 20          | 2.45  |

*Nota.* Adecuado de (Bermeo y Silva, 2022; Ortega y Diez, 2013).

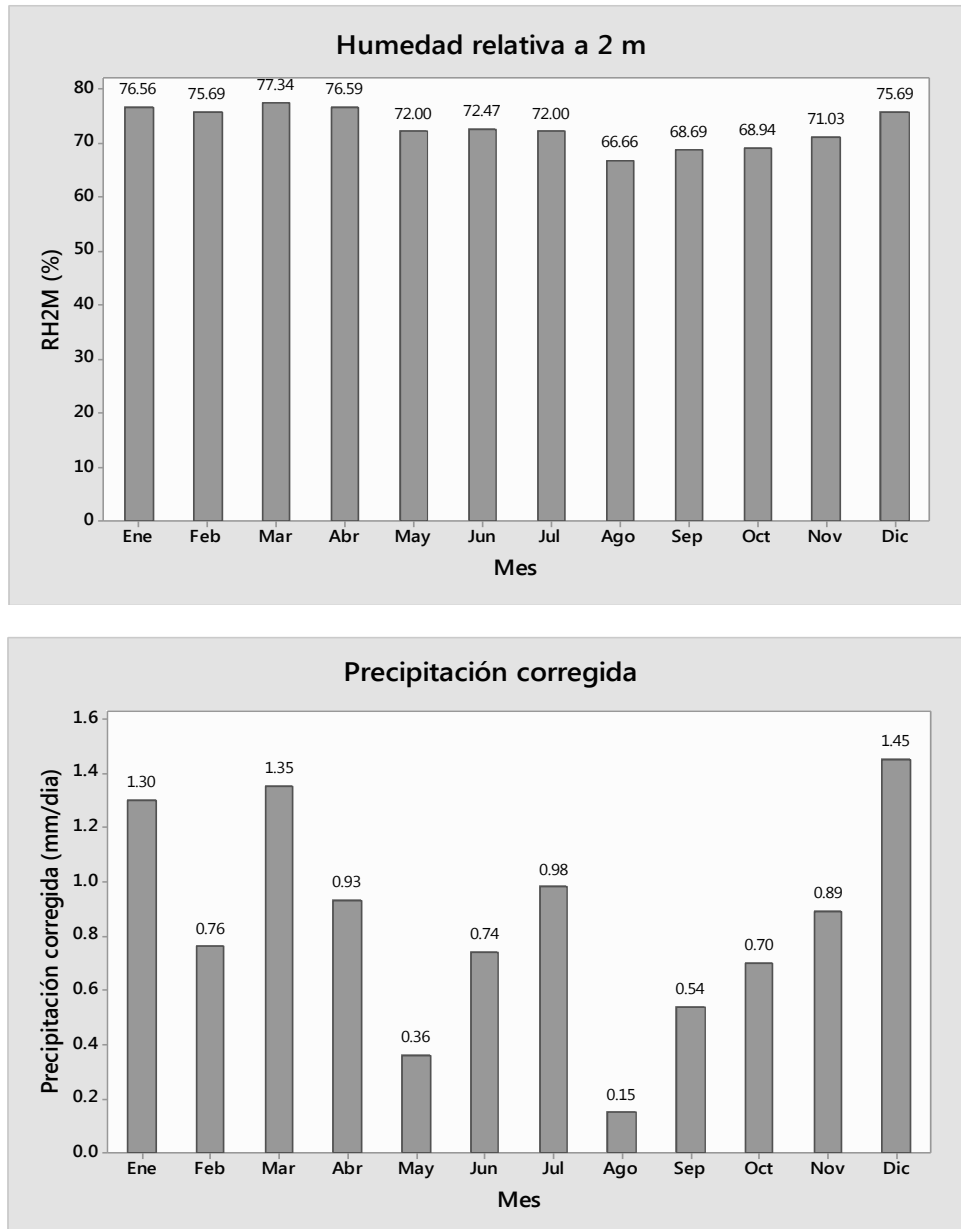
La máxima evapotranspiración del cultivo de maíz se encuentra en el período de la tercera fase, con una cantidad de agua de 6.89 mm/día. Esta es la cantidad máxima de agua consumida por una planta de maíz durante toda su temporada de crecimiento, y corresponde a la cosecha que se encuentra centrada en la temporada de verano, como era lógico predecir. Para cálculo de las necesidades totales de agua de riego, hay que tener en cuenta que la planta no utiliza toda la cantidad de agua aplicada al sitio de riego. Parte de esta agua se pierde a medida que fluye hacia la superficie o penetra más allá de las raíces y no puede ser utilizada por la planta. Depende mayormente del sistema de riego utilizado, donde se aplica un factor de corrección según el método de riego. Esto se considera un factor de corrección que aumenta en un 10% con respecto a la cantidad previamente determinada (Bermeo y Silva, 2022).

Se aporta 7.58 lt/m<sup>2</sup>/día, que corresponde a la demanda total de agua del maíz en la parcela para asegurar el suministro continuo de agua, debiendo diseñarse y medirse el sistema de riego en base a este parámetro. El área de la parcela (01 hectárea), por lo tanto el requerimiento de agua es 75.8 m<sup>3</sup>/día para la máxima evaporación durante la tercera etapa (floración y formación de frutos, hasta la maduración). Asimismo en la Figura 8, se muestra

el comportamiento de la humedad relativa, y precipitación en la parcela de cultivo. Asimismo durante los meses de mayo a noviembre se tiene humedades relativas más bajas; además en meses como febrero, mayo, agosto y septiembre las precipitaciones diarias más bajas. Esto evidencia que son los meses que se necesita de más agua para el cultivo de maíz.

**Figura 8**

*Humedad relativa, y precipitación en la parcela de cultivo*



*Nota.* Datos NASA (2020-2021)

### 4.3 Resultados de potencia del sistema de bombeo de agua.

Si se conoce el cambio de nivel durante el bombeo (abatimiento), no es necesaria la prueba de bombeo, también mencionada en las especificaciones del IDAE, para el cálculo de la altura total equivalente ( $H_{TE}$ ), se debe tomar en cuenta el 10% de pérdida por fricción en el sistema (Pareja, 2016). Así mismo según IDAE (2009), la altura  $H_{TE}$ , es la distancia que debe recorrer el flujo de agua desde el punto que se extrae hasta el tanque de distribución.

Existe un canal en la zona de estudio que necesita ser acondicionado directamente en el punto donde se toma el agua para el bombeo. El nivel del agua se puede mantener a una profundidad de 1.20 m desde el nivel del suelo, que corresponde a la altura estática o altura de succión. Del mismo modo, existe un desnivel de 43 m entre la cota 841.07 m.s.n.m (instalación de bomba eléctrica) y el nivel más alto de suelo agrícola 884.06 m.s.n.m, como se muestra en la Figura 9. Para el diseño, se tuvo en cuenta una altura de abatimiento de 0.30 m por debajo del nivel del agua, porque el caudal puede disminuir durante las épocas de verano. Para la tubería de conducción, se pudo determinar una distancia de unos 210 metros hasta el punto más alto. La Figura 10, muestra el gráfico de alturas manométricas para el sistema de bombeo fotovoltaico propuesto.

**Figura 9**

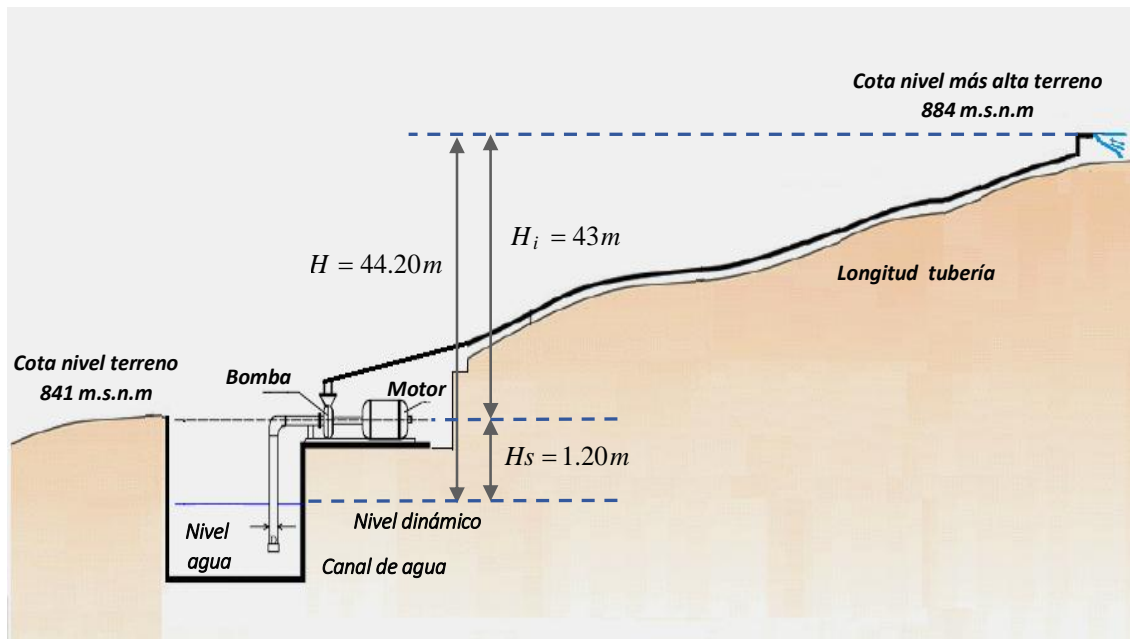
*Cotas de captación del agua y punto mas alto de la parcela de maiz*



*Nota.* Mapa de relieve donde muestra también curvas de nivel del terreno.

**Figura 10**

*Esquema de bombeo fotovoltaico propuesto para riego agrícola*



*Nota.* Alturas manométricas para el sistema de bombeo fotovoltaico.  $H_i$  altura de impulsión,  $H_s$  altura de succión,  $H$  altura geométrica total.

### 4.3.1 Resultados de energía hidráulica

No se considera un tanque de almacenamiento para el proyecto ( $H_d = 0$ ), por lo que no se realiza el riego todos los días. Además, el almacenamiento de agua encarece el proyecto y mucho más el almacenamiento de energía con baterías. Para el esquema propuesto, la altura se determina utilizando la Ecuación (2). Esto conduce a una altura equivalente de 48.95 m.

$$H_{TE} = 1.1 \times [H_s + H_{abat} + H_i + H_d] = 1.1 \times [H + H_{abat} + H_d] \quad (2)$$

$$H_{TE} = 1.1 \times [44.20 + 0.30 + 0] = 48.95 \text{ m}$$

Donde:

$H_d$  : Altura del depósito de agua

$H_s$  : Altura succión

$H_i$  : Altura de impulsión.

$H_{abat}$  : Abatimiento.

$H$  : Altura geométrica total.

Una vez determinado los requerimientos de agua para el cultivo de maíz durante el crecimiento y la altura manométrica para cumplir con las necesidades de agua. Según Pareja (2016), la energía hidráulica se determinó mediante la Ecuación (3). La energía hidráulica para dimensionamiento del sistema de bombeo, incluido pérdidas del 10 %, resultó 10.11 kWh/día, esta energía es la misma en todos los meses del año, la demanda de agua y frío se consideró constante durante todo el año.

$$E_h = \frac{\rho \times g \times Q \times H_{TE}}{3600} \quad (3)$$

$$E_h = \frac{1000 \times 9.81 \times 75.80 \times 48.95}{3600} = 10.11 \text{ kWh/día}$$

Donde:

$E_h$  : Energía hidráulica (Wh/día)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  : Volumen de agua (m<sup>3</sup>/día).

#### 4.3.2 Resultados mes más desfavorable

El mes de dimensionado, se selecciona aquel en que el coeficiente entre la energía hidráulica y de radiación ( $E_h/G_{dm}$ ) tiene el valor más alto para el ángulo óptimo calculado de 7.6933°, que equivale a 2.680. La Tabla 4, muestra los resultados de cálculo donde se determinó el peor mes en radiación. También muestra la radiación solar disponible para accionar el generador, optimizando el equilibrio entre oferta y demanda de energía. Por tanto se concluye que el mes de dimensionado es febrero, ángulo de inclinación óptimo 7.6933°, y una demanda de energía hidráulica de 10.11 kWh/día.



**Tabla 4***Cálculo del cociente entre necesidad de energía e irradiación para el ángulo óptimo*

| Mes | Necesidad energía, $E_h$<br>(kWh/día) | Irradiación, $G_{dm}(7.6933^\circ)$<br>(kWh/día) | $E_h/G_{dm}$ |
|-----|---------------------------------------|--|--------------|
| Ene | 10.11                                 | 3.98   | 2.539        |
| Feb | 10.11                                 | 3.77   | 2.680        |
| Mar | 10.11                                 | 3.97   | 2.544        |
| Apr | 10.11                                 | 4.11   | 2.463        |
| May | 10.11                                 | 3.99   | 2.536        |
| Jun | 10.11                                 | 4.01   | 2.523        |
| Jul | 10.11                                 | 3.98   | 2.539        |
| Ago | 10.11                                 | 4.52   | 2.236        |
| Sep | 10.11                                 | 4.43   | 2.282        |
| Oct | 10.11                                 | 4.68   | 2.159        |
| Nov | 10.11                                 | 4.54   | 2.226        |
| Dic | 10.11                                 | 4.27   | 2.367        |

### 4.3.3 Resultados energía eléctrica necesaria

Dentro del diseño del conjunto de bombas, normalmente se instalan bombas sumergibles y de superficie para operar el sistema de riego. La selección de una bomba de agua depende de la profundidad del nivel freático y de la descarga y altura deseadas para operar el sistema de riego. Estas bombas funcionan con motores de inducción operados con una fuente de alimentación de CA trifásica. La razón principal para seleccionar estas bombas que son muy eficientes y tienen el potencial de proporcionar la descarga y altura deseadas para un campo agrícola específico en función de los requisitos de agua del cultivo y el diseño del sistema de riego (Miran et al., 2022).

Para determinar la energía eléctrica requerida se tiene en cuenta el rendimiento pico del subsistema motor-bomba CA, normalmente el valor de rendimiento medio es del 40 % y el valor pico del 60%. Además, en los sistemas de bombas de CA, la eficiencia de la motobomba es un parámetro que generalmente se incluye en la eficiencia inversor – motobomba (Pareja, 2016). Para el cálculo de la energía requerida para la potencia máxima diaria se considera un rendimiento promedio del 40%, y fue determinado por la Ecuación (4). Resultando una energía eléctrica de potencia máxima de 25.28 kWh/día.

$$E_{P_{max-d}} = \frac{E_h}{\eta_{MB}} \quad (4)$$

$$E_{P_{max-d}} = \frac{10.11}{40\%} = 25.28 \text{ kWh/día}$$

Donde:

$E_{P_{max-d}}$  : Energía eléctrica de potencia máxima (kWh/día).

$E_h$  : Energía hidráulica diaria (kWh/día).

$\eta_{MB}$  : Rendimiento medio del sistema motobomba.

Asimismo considerando que el sistema funcione por 3.77 hora aprovechables de sol para el peor mes en radiación, se calcula la potencia necesaria del motor ( $P_M$ ). Reemplazando en la Ecuación (5), se obtuvo como resultado 6.71 kW.

$$P_M = \frac{E_{P_{max-d}}}{HSP} \quad (5)$$

$$P_M = \frac{25.28}{3.77} = 6.71 \text{ kW} \approx 7 \text{ kW}$$

#### 4.4 Resultados de cálculo y selección de componentes del sistema de bombeo de agua fotovoltaico

El sistema de bombeo fotovoltaico mayormente consta de una matriz fotovoltaica, un controlador de carga, convertidor de voltaje, motor, banco de baterías y otros accesorios de montaje y cableado. Para la investigación el sistema de bombeo fotovoltaico no considera banco de baterías.

##### 4.4.1 Resultados de potencia del generador fotovoltaico

Según Pareja (2016), la potencia del generador, sin considerar la potencia de cada módulo solar, se hace por la Ecuación (6). La potencia del generador se calcula con un factor

de seguridad de sobredimensionado del 10 %, en el mes más desfavorable 3.77 HSP (febrero) para un ángulo óptimo inclinación calculada de 7.6933 °.

Según IDAE (2009), para bombeo directo en donde se utiliza inversor sin baterías, el valor de  $K_T$  es de 0.7. Si se trata de un sistema con baterías, se tomará el valor de 0.6. La sustitución de los valores en la Ecuación (6) dio como resultado 11.70 kW de potencia mínima a considerar para el generador solar.

$$P_G = fs \times \frac{E_{P_{\max-d}}}{0.9 \times HSP \times K_T} \quad (6)$$

$$P_G = 1.1 \times \frac{25.28}{0.9 \times 3.77 \times 0.7} = 11.70 \text{ kW}$$

Donde:

$P_G$  : Potencia del generador (kW).

$fs$  : Factor de seguridad para sobre dimensionar la instalación.

$E_{P_{\max-d}}$  : Energía eléctrica de potencia máxima (kWh/día).

$HSP$  : Horas sol pico.

$K_T$  : Pérdidas de la instalación.

#### 4.4.2 Resultados caudal pico de la electrobomba

La bomba debe soportar un caudal máximo o pico (l/s) basado en la capacidad del generador, el rendimiento máximo del subsistema motobomba (la eficiencia promedio suele ser del 40 % y la máxima del 60 %). Según Pareja (2016), los cálculos se realizan con la Ecuación (7). Reemplazando valores, se obtiene el caudal pico que debe soportar la bomba de 14.61 l/s (52.61 m<sup>3</sup>/h).

$$Q_P = \frac{P_G \times \eta_{P-MB}}{g \times H_{TE}} \quad (7)$$

$$Q_P = \frac{P_G \times \eta_{P-MB}}{g \times H_{TE}} = \frac{11.70 \times 0.6}{9.81 \times 48.95} = 14.61 \text{ l/s} = 52.61 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Donde:

$Q_P$  : Caudal pico (l/s)

$P_G$  : Potencia del generador (kW).

$\eta_{P-MB}$  : Rendimiento pico del subsistema motor-bomba.

$g$  : Gravedad (9.81 m/s).

$H_{TE}$  : Altura total equivalente (m).

#### 4.4.3 Resultados de cálculo NPSH disponible para la instalación en aspiración

Distinguimos entre  $NPSH$  (altura de aspiración neta positiva) de la instalación o disponible ( $NPSH_{disp}$ ), y  $NPSH$  de la bomba o requerido ( $NPSH_{req}$ ). Para que la bomba funcione sin cavitación debe de cumplirse la relación de la Ecuación (8), en la que se añade 0.5 metros de seguridad:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0.5 \quad (8)$$

De acuerdo al reporte de la NASA, se tiene una temperatura promedio en la zona de 17.73 °C; para los cálculos, a esa temperatura se desea bombear agua contenida en un canal al aire libre. La altura de aspiración es de 1.20 m y la presión atmosférica ejercida sobre la superficie del líquido es de 1 bar. La pérdida de carga en la línea de aspiración con válvula de retención se considera un 10 % de la altura de aspiración (0.12 m). A una temperatura de 17.73 °C, según tablas de tensión de vapor del agua, se interpola y se tiene 0.213 mca (0.0213 bar). Reemplazando datos en la Ecuación (9), se obtuvo 8.66 m. Tomando el criterio de la Ecuación (8), se obtiene ( $8.16\text{m} \geq NPSH_{req}$ ), no existiendo riesgo de cavitación.

$$NPSH_{disp.} = \frac{P_l - P_v}{\rho \times g} - H_s - h_s \quad (9)$$

$$NPSH_{disp.} = 10^5 \cdot \left( \frac{1 - 0.213}{1000 \times 9.81} \right) - 1.20 - 0.12 = 8.66\text{m}$$

Donde:

$p_l$  : Es la presión sobre el líquido en el depósito de aspiración.

$p_v$  : Es la presión de vapor del líquido (utilizar tablas vapor de agua).

$\rho$  : Densidad del líquido, para el agua es de  $1000 \text{ kg/m}^3$

$g$  : Aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$H_s$  : Altura de succión o aspiración (m)

$H_s$  : Pérdida de carga que se produce en el tramo de la aspiración (m)

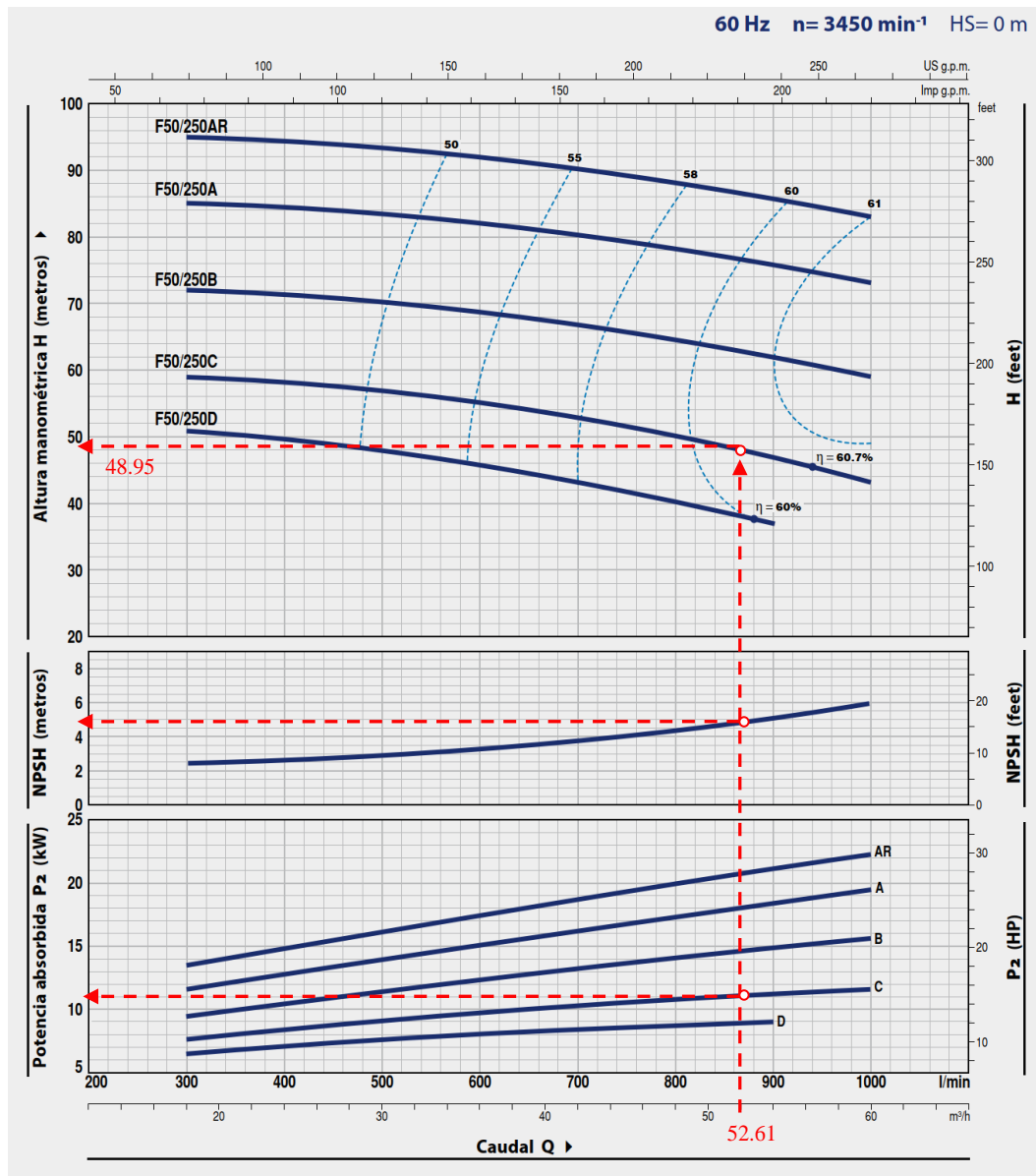
#### 4.4.4 Resultados selección y justificación de la electrobomba bomba

De acuerdo a catálogos de fabricantes y otras investigaciones por la carga dinámica total del sistema (m) y volumen ( $\text{m}^3/\text{día}$ ) corresponde a seleccionar una bomba centrífuga sumergibles multipaso. Por la topología y condiciones de captación de agua en la zona, y realizando una búsqueda de bombas disponibles en el mercado y potencias estándar de fabricantes, se seleccionó como mejor opción seleccionar una electrobomba centrífuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, pudiendo dar una potencia de hasta 11 kW, 380 V CA trifásica. Por otra parte con la finalidad de no sobredimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico, también se vio la posibilidad de seleccionar más de una bomba con la finalidad de instalar en paralelo para una misma altura manométrica, y de acuerdo a búsqueda de bombas disponibles en el mercado y potencias estándar de fabricantes, tampoco cumplían con la altura manométrica de diseño.

Para la electrobomba centrífuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, tomando un caudal pico calculado de  $52.61 \text{ m}^3/\text{h}$  se puede disponer de una altura de 48.95 m, y un  $NPSH_{req}$  del fabricante menor al  $NPSH_{disp}$  calculado y que cumple con el diseño (Figura 11). También se puede verificar, que la electrobomba F50/250C (9.2 kW), cumple con el requerimiento de potencia y  $NPSH_{req}$ , pero no con la altura máxima, para el caudal pico calculado.

**Figura 11**

*Curva de funcionamiento bomba centrifuga Pedrollo F50/250C*



*Nota.* Muestra la curva de funcionamiento para la electrobomba seleccionada, que soporta el caudal pico calculado. Altura de aspiración manométrica hasta 7 m. Tomando de Catálogo de fabricante Pedrollo.

#### 4.4.5 Resultados de cálculo y selección de diámetro de tubería

Algunos autores recomiendan que el diámetro de succión sea un poco mayor al diámetro de impulsión, toman en cuenta la Ecuación de Continuidad para la succión, y ecuación de Bresse para la impulsión.

Para el proyecto se aplicó el principio de continuidad, la velocidad oscila entre  $0.25 \leq V < 5 \text{ m/s}$ , para lo cual se utilizó la Ecuación (10). Considerando un caudal bombeado de  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $0.88 \text{ l/s}$ ), y una velocidad  $0.3 \text{ m/s}$ , se obtuvo aproximadamente un diámetro de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas.

$$D_S = \sqrt{\frac{4 \times Q_b}{\pi \times V}} \quad (10)$$

$$D_S = \sqrt{\frac{4 \times Q_b}{\pi \times 1000 \times V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.88}{\pi \times 1000 \times 0.3}} = 0.061 \text{ m} = 2.40 \text{ pulgadas}$$

Se seleccionó una manguera de aspiración corrugada o de malla armada  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro, con un filtro al inicio de la aspiración. Así mismo para la impulsión manguera plana de suministro de caucho blando  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro, incluidos accesorios.

#### 4.4.6 Resultados de selección y justificación del inversor o convertidor de frecuencia

La potencia mínima que debe soportar el inversor o convertidor de frecuencia es la potencia de la carga. Según Mejía (2019), la potencia del inversor o convertidor de frecuencia se determinó con la Ecuación (11). Resultando una potencia del inversor de  $11.00 \text{ kW}$ , igual al de la carga eléctrica.

De acuerdo a las marcas y rango de potencias disponibles en el mercado, se seleccionó un inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, que puede entregar hasta  $11 \text{ kW}$ , el cual puede brindar un voltaje de entrada:  $500\text{-}750 \text{ V CC}$ , y salida:  $380 \text{ V CA}$ . De acuerdo a ficha técnica puede conectarse a una carga eléctrica ( $\leq 11 \text{ kW}$ ). Por otra parte las bombas son de un servicio continuo, y no va a trabajar a plena carga,  $70 \%$  de plena carga (potencia teórica calculada electrobomba  $7 \text{ kW}$ ).

$$P_{INV} = P_{\text{carga}} \times FS \quad (11)$$

$$P_{INV} = P_{carga} \times FS = 11 \times 1 = 11 \text{ kW}$$

Donde:

$P_{INV}$  : Potencia del inversor

$P_{carga}$  : Potencia de la carga

$FS$  : Factor de seguridad

#### 4.4.7 Resultados selección y justificación sistema generación fotovoltaica

La potencia calculada para el generador fotovoltaico fue de 11.70 kW, y por la potencia de la bomba seleccionada es conveniente ampliar un poco más la potencia de la generación fotovoltaica aumentando más paneles, pero esto genera sobre costo. Para el proyecto la bomba va a trabajar cerca de un 70 % de plena carga (potencia teórica calculada electrobomba 7 kW). Se consideró un arreglo fotovoltaico de 2 paralelo x 13 paneles en serie. El panel fotovoltaico seleccionado es un SpolarPV modelo SP460M6-96 de 460 Wp, y 48 V de voltaje nominal del tipo monocristalino, aportando una potencia pico total de 12 kWp, suficiente para suplir la demanda de energía. Pareja (2016) indica que para el cálculo del número de paneles fotovoltaicos totales se realiza con la Ecuación (12).

$$N_{p-total} \geq \frac{P_G}{P_{max p}} \quad (12)$$

$$N_{p-total} \geq \frac{11.78}{0.460} = 26 \text{ paneles (SP460M 6-96)}$$

Con el arreglo fotovoltaico, se consideró un voltaje nominal del sistema de generación de 624 V CC, y voltaje de máxima potencia de 665.47 V CC, tomando en cuenta el rango de voltajes de entrada del inversor de bombeo solar Hober: 500-750V CC.

Según Mejía (2019), la corriente de operación del generador fotovoltaico, se calcula con la Ecuación (13). Resultando una corriente de operación de 17.96 A.

$$I_{oper,G} = I_{oper,P} \times N_{P,p} \quad (13)$$



$$I_{oper,G} = 8.98 \times 2 = 17.96 \text{ A}$$

Donde:

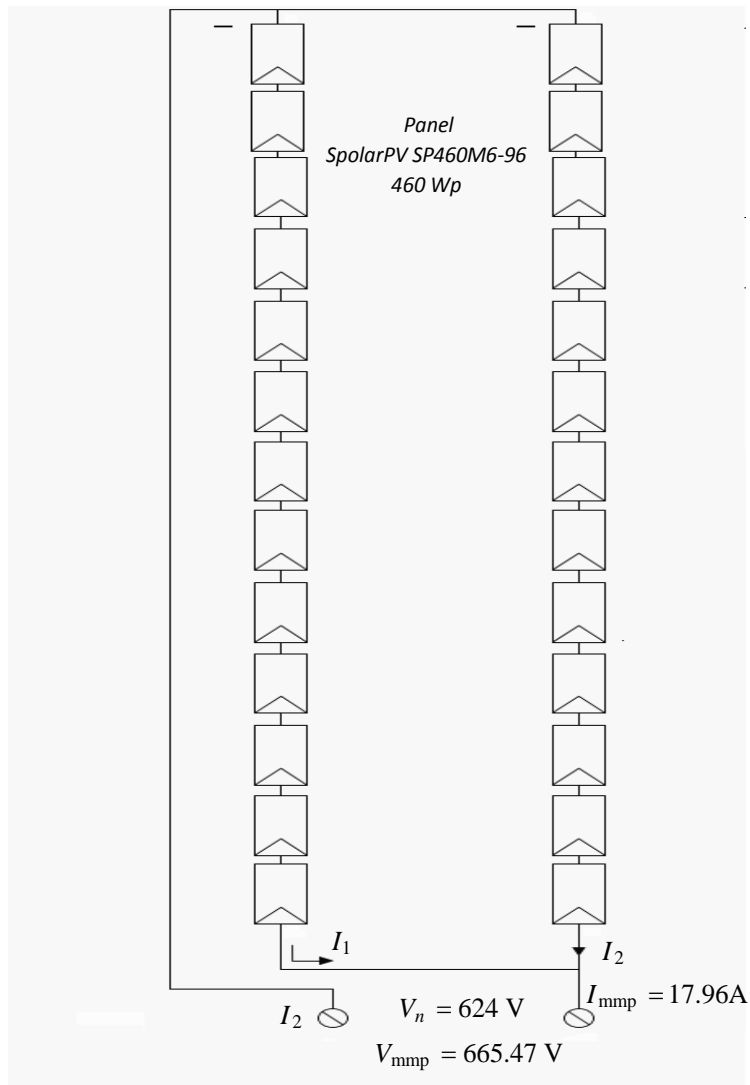
$I_{oper,G}$  : Corriente de operación del generador fotovoltaico

$I_{oper,P}$  : Corriente de operación del panel

$N_{P,p}$  : Número de paneles en paralelo

### Figura 12

*Configuración del campo solar dimensionado paneles fotovoltaicos*



*Nota.* Muestra configuración del campo solar 2 serie x13 paneles paralelo

Para determinar la corriente máxima de todo el conjunto de generadores fotovoltaicos, se tiene que tomar la corriente de corto circuito del panel seleccionado, y el número de paneles en paralelo (Mejía, 2019). Resultando una corriente máxima de 19.22 A, valor que sirve para la selección de los equipos de protección eléctrica (fusibles y termo magnéticos) en el tramo generador fotovoltaico e inversor, los cálculos se realizaron con la Ecuación (14).

$$I_{max,G} = I_{SC,G} = I_{SC,P} \times N_{P,p} \quad (14)$$

$$I_{max,G} = I_{SC,G} = 19.22 A$$

Donde:

$I_{max,G}$  : Corriente máxima del generador fotovoltaico

$I_{SC,G}$  : Corriente de corto circuito del generador fotovoltaico

$I_{SC,P}$  : Corriente de corto circuito del panel

$N_{P,p}$  : Número de paneles en paralelo.

#### 4.4.8 Resultados de cálculo de conductores eléctricos

Según Bermeo y Silva (2022), para determinar la sección del conductor en cada tramo del sistema de bombeo fotovoltaico se utilizó las Ecuaciones (15) y (16). Resultados de cálculo se muestran en la Tabla 5.

$$S = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V} \quad (15)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{\Delta V} \quad (16)$$

Donde:

$S$  : Conductor ( $\text{mm}^2$ )

$\rho$  : Conductividad material ( $\rho_{Cu \ 75^\circ C} = 0.022 \ \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$ ).

$\Delta V$  : Caída de tensión (V)

**Tabla 5***Calculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo fotovoltaico*

| Conexión eléctrica Componentes | Tipo                    | Longitud (m) | Máxima caída de tensión admisible | I (A) | Vn  | S (mm <sup>2</sup> ) | AWG       |
|--------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------------|-------|-----|----------------------|-----------|
| Generador /Inversor            | Corriente continua (CC) | 30           | 3%                                | 17.96 | 624 | 1.27                 | <b>16</b> |
| Inversor /Bomba                | Corriente alterna (CA)  | 25           | 3%                                | 18.57 | 380 | 1.40                 | <b>14</b> |

*Nota.* Tramo inversor/ bomba sistema trifásico 380/220 V.

#### 4.4.9 Sistemas de protección eléctrica

##### a) Sistemas de puesta a tierra

El diseño seguro del sistema de puesta a tierra de una instalación se basa en la protección de las personas contra el peligro de una descarga eléctrica crítica. Además, permite el flujo de corrientes normales o de falla hacia la tierra sin excediendo los límites operativos y del equipo o afectando negativamente la continuidad del servicio (Datsios y Mikropoulos, 2012). Los sistemas con una tensión nominal superior a 48 voltios deben tener al menos una conexión a tierra unida a la estructura del campo fotovoltaico y al marco metálico del módulo solar (Pareja, 2016). La puesta a tierra tiene que cumplir con las especificaciones del Código Nacional de Electricidad (CNE). Varilla de cobre 5/8 pulgada x 2.40 metros, conector de cobre tipo AB, caja de registro, y conductor de cobre 16 mm. La resistencia de puesta tierra se recomienda menor a  $25 \Omega$ , se recomienda utilizar dosis de bentonita.

##### b) Fusibles y termo magnéticos

Los elementos de protección son el fusible y los termomagnéticos, que sirven como disparo de protección ante cortocircuitos y sobre tensiones (Pareja, 2016). Además, en las instalaciones fotovoltaicas, los fusibles de CC se utilizan principalmente para evitar que el cableado del sistema se caliente demasiado y se incendie. También se utilizan para evitar que

los módulos se incendien o se dañen más gravemente si se produce un cortocircuito. En funcionamiento normal, el fusible debe garantizar la función de conducción. En caso de falla eléctrica (corriente anormalmente alta en comparación con la corriente nominal), el fusible, que consiste en una tira de metal o un elemento de alambre, asegura la función de interrupción de la corriente eléctrica: el fusible se funde debido a la transferencia de energía causada por la falla eléctrica.

El circuito de corriente continua corresponde al tramo de la instalación eléctrica que va a partir de los paneles fotovoltaicos hasta el inversor. Para el cálculo de fusibles y termomagnético se realizó con Ecuaciones (17) y (18). De acuerdo a resultados se seleccionó fusibles estandarizados y disponibles en el mercado del tipo GI cilíndricos, para el tramo generador-inversor un fusible de 20 A, para el tramo inversor- carga eléctrica (electrobomba) de 20 A.

- Generador fotovoltaico – Inversor

$$I_{fusible(GFV-Inversor)} \geq I_{sc,P} \times N_{P,p} \quad (17)$$

$$I_{fusible(GFV-Inversor)} \geq 9.61 \times 2 = 19.22 \text{ A}$$

- Termomagnético Inversor – Carga eléctrica (Electrobomba)

$$I_{termomagnético} = \frac{P_{CA-Carga\ eléctrica}}{\sqrt{3} \times V_{n,CA}} \quad (18)$$

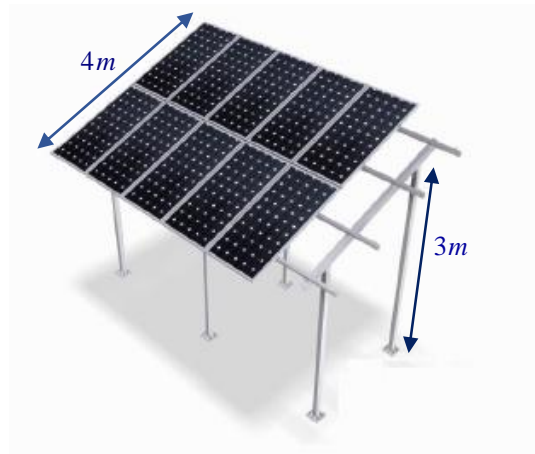
$$I_{termomagnético} = \frac{11000}{\sqrt{3} \times 380} = 16.71 \text{ A}$$

#### 4.4.10 Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos.

La configuración de la estructura de soporte será elevada, 01 estructura con disposición de módulos verticales [2x10], y otra de [2x3], con inclinación de 5°-20° de 3 m de altura, para módulo 1956x1310 mm. Los materiales de la perfilería de la estructura elevada ELV 2x10, y ELV 2x3, serán fabricados íntegramente en aluminio de alta calidad, mientras que la tornillería y accesorios en acero inoxidable. Las patas son de acero galvanizado en caliente.

### Figura 13

*Estructuras de soporte elevada, disposición de los módulos vertical*



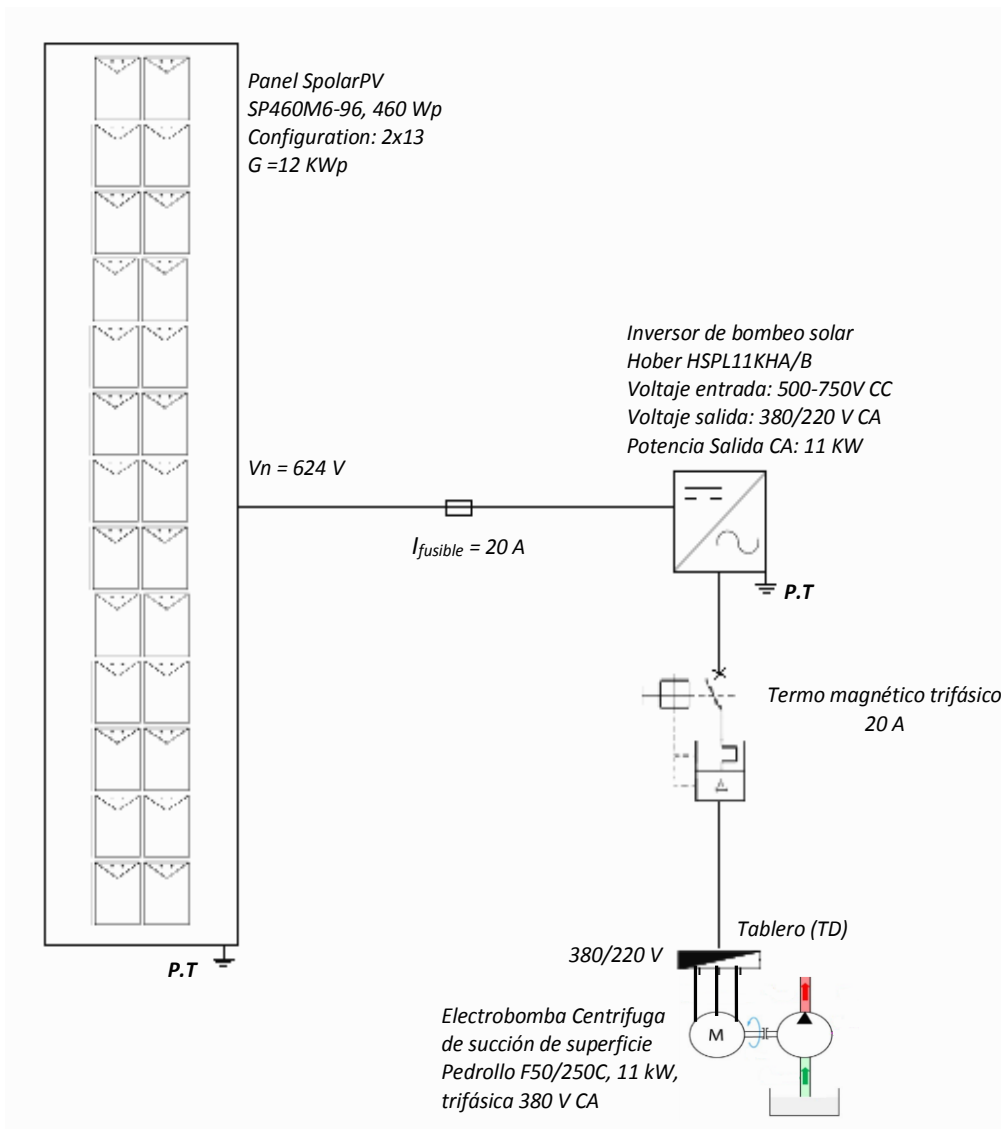
*Nota.* Muestra las instalaciones de los paneles para estructuras ELV 2x10, y ELV 2x3

#### 4.4.11 Esquema del sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado

El esquema de la Figura 14, muestra la topología del sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado para el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro.

**Figura 14**

*Topología del sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado*



*Nota.* Muestra sus componentes y características del sistema de bombeo fotovoltaico. Electro-bomba centrífuga de succión de superficie.

#### 4.5 Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico

Para la evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico, primeramente se determinó el presupuesto o inversión referencial, costos de operación y mantenimiento, y el Costo Nivelado de Energía (LCOE). Luego se determinaron los indicadores económicos. El presupuesto para el sistema de bombeo fotovoltaico asciende a S/. 62 074.65. En la Tabla 6, se muestra el costo de inversión referencial para la construcción.

**Tabla 6***Presupuesto referencial sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado.*

| <b>Item</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio (S/.)</b> | <b>Sub total (S/.)</b> |
|-------------|---|---------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| <b>I</b>    | <b>Suministro de materiales</b>   |               |                 |                     | <b>41066.50</b>        |
| 1.1         | Panel fotovoltaico SpolarPV SP460M6-96 de 460 Wp, 48 V  | Und.          | 26              | 680.00              | 17680.00               |
| 1.2         | Inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW, voltaje de entrada: 500-750V CC, y salida: 380V CA   | Und.          | 1               | 7000.00             | 7000.00                |
| 1.3         | Tablero de distribución trifásico 380/220 V con alojamiento también de inversor.  | Und.          | 1               | 450.00              | 450.00                 |
| 1.4         | Portafusibles de 20 A   | Und.          | 1               | 30.00               | 30.00                  |
| 1.5         | Termo magnético trifásico de 25 A   | Und.          | 1               | 180.00              | 180.00                 |
| 1.6         | Conductor eléctrico 14 AWG  | m             | 25              | 5.80                | 145.00                 |
| 1.7         | Conductor eléctrico 16 AWG  | m             | 30              | 4.75                | 142.50                 |
| 1.8         | Electrobomba Centrifuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, 11 kW, trifásica 380 V CA   | Und.          | 1               | 3550.00             | 3550.00                |
| 1.9         | Manguera de aspiración corrugada o de malla armada 2 1/2" de diámetro   | m             | 2               | 27.00               | 54.00                  |
| 1.10        | Manguera plana de suministro de caucho blando 2 1/2" de diámetro  | m             | 210             | 9.50                | 1995.00                |
| 1.11        | Filtro para aspiración, válvula de retención, más accesorios para manguera plana de caucho blando 2 1/2" de diámetro.   | Glb           | 1               | 100.00              | 100.00                 |
| 1.12        | Estructura soporte elevada, disposición de módulos vertical [2x10] (Modulo: 1956x1310 mm), con inclinación de 5°-20°, 3m de altura.   | Und.          | 1               | 6500.00             | 6500.00                |
| 1.13        | Estructura soporte elevada, disposición de módulos vertical [2x3] (Modulo: 1956x1310 mm), con inclinación de 5°-20°, 3m de altura.  | Und.          | 1               | 2600.00             | 2600.00                |
| 1.14        | Puesta a tierra (01 Varilla Cu 5/8"x2.40 m, 01 conector de Cu tipo AB 5/8", 01 caja de registro de concreto, 10 m conductor Cu 16 mm <sup>2</sup> , 01 saco de bentonita sódica 30 Kg | Glb           | 1               | 640.00              | 640.00                 |
| <b>II</b>   | <b>Montaje</b>  |               |                 |                     | <b>13384.95</b>        |
| 2.1         | Montaje electromecánico del sistema de bombeo fotovoltaico  | Glb           | 1               | 12319.95            | 12319.95               |
| 2.2         | Acondicionamiento de la captación de agua para bombeo   | Glb           | 1               | 1065.00             | 1065.00                |
|             | <b>Total costo directo (CD)</b>   |               |                 |                     | <b>S/. 54 451.45</b>   |
|             | <b>Transporte materiales (5% CD)</b>  |               |                 |                     | <b>S/. 2722.57</b>     |
|             | <b>Gastos generales (9% CD)</b>   |               |                 |                     | <b>S/. 4 900.63</b>    |
|             | <b>Total presupuesto</b>  |               |                 |                     | <b>S/. 62 074.65</b>   |

*Nota.* Precios Incluyen IGV.

En la Tabla 7, se muestran los costos de operación y mantenimiento para el sistema de bombeo fotovoltaico, que corresponde al mantenimiento de la electrobomba, y del generador fotovoltaico. Asimismo en la Tabla 8, se muestra costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico para el inversor y electrobomba.

**Tabla 7**

*Costos anuales de operación y mantenimiento, sistema de bombeo fotovoltaico*

| Item         | Descripción                                    | Unidad | Cantidad | Precio (S/.) | Sub total (S/.)   |
|--------------|--|--------|----------|--------------|-------------------|
| 1.1          | Mantenimiento electrobomba (2 % Electroboomba) | Und.   | 1        | 71.00        | 71.00             |
| 1.2          | Mantenimiento generador fotovoltaico (2 % FV)  | Und.   | 1        | 353.60       | 353.60            |
| <b>Total</b> |  |        |          |              | <b>S/. 424.60</b> |

*Nota.* Precios Incluyen IGV.

**Tabla 8**

*Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico*

| Item         | Descripción   | Unidad | Cantidad | Precio (S/.) | Sub total (S/.)     |
|--------------|---|--------|----------|--------------|---------------------|
| 1.1          | Inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW, voltaje de entrada: 500-750V CC, y salida: 380V CA | Und.   | 1        | 7000.00      | 7000.00             |
| 1.2          | Electrobomba Centrifuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, 11 kW, trifásica 380 V CA         | Und.   | 1        | 3550.00      | 3550.00             |
| <b>Total</b> |   |        |          |              | <b>S/. 10550.00</b> |

*Nota.* Precios Incluyen IGV.

El Costo Nivelado de Energía (LCOE), corresponde a la energía producida por el sistema fotovoltaico en todo el periodo de vida útil del proyecto, trasladando tanto los costos que se incurran en su operación en el mismo periodo como la generación a valor presente; por medio de una tasa de descuento (Bermeo y Silva, 2022; García et al., 2015). El cálculo del LCOE está definidos por la Ecuación (19), para cada año  $j$ .



$$LCOE = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{I_j + OyM_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+i)^j}} \quad (19)$$

Donde:

$I_j$  : Inversión inicial (diseño, equipos, instalación, ingeniería) (S/).

$OyM_j$  : Operación y mantenimiento (S/).

$E_t$  : Generación eléctrica (kWh).

$i$  : Tasa de descuento (%).

$j$  : Tiempo de vida del sistema de generación (años).

La tasa de descuento, es la tasa a la cual la tasa de interés nominal excede la inflación. En los estudios internacionales de costos de generación de electricidad, las tasas de descuento del 5 y el 7 % generalmente se usan de manera realista, pero se pueden usar tasas de descuento más altas en proyectos financiados por inversiones privadas. También recomiendan hacer un análisis de sensibilidad porque nunca estás seguro de cómo se comportará el mercado. Los análisis de sensibilidad se pueden realizar con tasas 5, 7, 9, y 12; y evaluar el comportamiento del costo nivelado de energía (Bermeo y Silva, 2022; Guillen, 2015).

A diferencia de las centrales térmicas tradicionales, los costos de operación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico son bajos; porque el consumo de combustible es casi nulo. Estos costos incluyen limpieza regular, monitoreo de rendimiento, mantenimiento, y reemplazo de bomba e inversor aproximadamente cada diez años. En la Tabla 9, se muestran los resultados de cálculo del LCOE del sistema fotovoltaico. Para la investigación, el LCOE de la generación fotovoltaica, se determinó con una tasa de descuento intermedia del 10 %, resultando el LCOE 0.517 S/./kWh, costos que van depender de los equipos seleccionados, y la tasa de descuento.

**Tabla 9***Resultados LCOE del sistema de bombeo fotovoltaico.*

| Año                   | Inversión<br>(S/.) | Producción<br>Energía<br>(kWh) | Costos<br>O&M<br>(S/.) | Costos<br>recurrentes<br>(S/.) | Costos<br>anuales<br>totales<br>(S/.) | Producción<br>a valor<br>presente<br>(kWh) | Costos anuales a<br>valor presente<br>(S/.) |
|-----------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| 0                     | 62074.65           |                                |                        |                                | 62074.65                              |  | 62074.65                                    |
| 1                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 13572.00                                   | 386.00                                      |
| 2                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 12338.18                                   | 350.91                                      |
| 3                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 11216.53                                   | 319.01                                      |
| 4                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 10196.84                                   | 290.01                                      |
| 5                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 9269.86                                    | 263.64                                      |
| 6                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 8427.14                                    | 239.68                                      |
| 7                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 7661.04                                    | 217.89                                      |
| 8                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 6964.58                                    | 198.08                                      |
| 9                     |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 6331.44                                    | 180.07                                      |
| 10                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 | 10550.00                       | 10974.60                              | 5755.85                                    | 4231.18                                     |
| 11                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 5232.59                                    | 148.82                                      |
| 12                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 4756.90                                    | 135.29                                      |
| 13                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 4324.46                                    | 122.99                                      |
| 14                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 3931.32                                    | 111.81                                      |
| 15                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 3573.93                                    | 101.65                                      |
| 16                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 3249.03                                    | 92.41                                       |
| 17                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 2953.66                                    | 84.00                                       |
| 18                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 2685.15                                    | 76.37                                       |
| 19                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 2441.04                                    | 69.43                                       |
| 20                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 2219.13                                    | 63.11                                       |
| 21                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 2017.39                                    | 57.38                                       |
| 22                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 1833.99                                    | 52.16                                       |
| 23                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 1667.27                                    | 47.42                                       |
| 24                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 1515.70                                    | 43.11                                       |
| 25                    |                    | 14929.20                       | 424.60                 |                                | 424.60                                | 1377.91                                    | 39.19                                       |
| <b>Totales:</b>       |                    |                                |                        |                                |                                       | <b>135 512.95</b>                          | <b>69 996.25</b>                            |
| <b>LCOE (S/./kWh)</b> |                    |                                |                        |                                |                                       |  | <b>0.517</b>                                |

*Nota.* Precios Incluyen IGV.

La producción de energía del sistema fotovoltaico es de 14929.20 kWh/año, el cargo por operación y mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico es S/. 424.60, y el costo de reinversión en el año 10 de S/.10550.00 para el inversor solar y la bomba. Por otra parte la Agencia Internacional de Energía (IEA) asume descuentos entre 10 % - 12 % para sistemas fotovoltaicos (Hernández y Martínez, 2013).

#### 4.5.1 Valor actual neto

Una inversión  $I_0$  origina en los años futuros unos flujos de caja positivos o negativos que se producen en los distintos años  $j$  de duración de la propia inversión. Estos flujos de efectivo:  $FC_1$  en el primer año,  $FC_2$  en el segundo año,  $FC_j$  en el  $j$ -ésimo año. Para hacer esta comparación, el efectivo los flujos deben ser “actualizados”, cada uno referido al año en que estará disponible, multiplicándolo por el factor de descuento relevante  $1/(1+i_j)^j$ . Cuando el VAN resulta positivo, significa que al final de la vida de la inversión los flujos de efectivo descontados producidos habrán dado rendimientos mayores que el costo de la inversión inicial. Por lo tanto el proyecto es conveniente desde el punto de vista financiero; viceversa cuando el VAN es negativo (Kumar, 2015).

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i_j)^j} - I_0 \quad (20)$$

Donde  $i_j$  es la rentabilidad mínima (interés para el VAN).

#### 4.5.2 Tiempo de recuperación.

El Tiempo de Recuperación (TR), se define como la relación entre la inversión inicial y el flujo de caja esperado, que se considera una cantidad fija y planificada periódicamente. Aunque este indicador económico es muy utilizado, puede resultar demasiado optimista ya que no tiene en cuenta el horizonte de inversión y el coste del capital (Kumar, 2015).

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (21)$$

Se realizó una evaluación para una tasa de interés para el VAN del 10%, resultando no rentable. En la Tabla 10 se muestran los resultados de la evaluación económica del sistema fotovoltaico para un segundo escenario, tomando una tasa de interés para el VAN del 9%, resultando rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20 años, con un VAN S/. 5 043.61.

**Tabla 10**  
Resultados de evaluación económica para el sistema de bombeo fotovoltaico.

| Año | Energía            |                                |                                      | Resultados                     |                |                             |   |                                       |  |
|-----|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--|
|     | Inversión<br>(S/.) | Producción<br>Energía<br>(kWh) | Precio del kWh<br>(LCOE)<br>(S./kWh) | Ingresos<br>(S/.)              | Pagos<br>(S/.) | Flujo Neto<br>Caja<br>(S/.) | FNC Actualizado<br>(Cálculo del VAN)<br>(S/.) | Flujo Neto Caja<br>Acumulado<br>(S/.) | Año de<br>repago (Pay-<br>Bac)<br>Años |
| 0   | 62074.65           |                                |                                      |                                |                | -62074.65                   | -62074.65                                     | -62074.65                             |  |
| 1   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 6685.09                                       | -55389.56                             |  |
| 2   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 6133.11                                       | -49256.45                             |  |
| 3   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 5626.71                                       | -43629.74                             |  |
| 4   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 5162.12                                       | -38467.62                             |  |
| 5   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 4735.89                                       | -33731.73                             |  |
| 6   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 4344.85                                       | -29386.88                             |  |
| 7   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 3986.10                                       | -25400.78                             |  |
| 8   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 3656.97                                       | -21743.80                             |  |
| 9   |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 3355.02                                       | -18388.78                             |  |
| 10  | 10550.00           | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 10974.6        | -3263.25                    | -1378.43                                      | -19767.21                             |  |
| 11  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 2823.86                                       | -16943.35                             |  |
| 12  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 2590.69                                       | -14352.66                             |  |
| 13  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 2376.78                                       | -11975.88                             |  |
| 14  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 2180.53                                       | -9795.34                              |  |
| 15  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 2000.49                                       | -7794.85                              |  |
| 16  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1835.31                                       | -5959.54                              |  |
| 17  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1683.77                                       | -4275.77                              |  |
| 18  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1544.75                                       | -2731.02                              |  |
| 19  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1417.20                                       | -1313.82                              |  |
| 20  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1300.18                                       | -13.64                                | <b>20.01</b>                           |
| 21  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1192.83                                       | 1179.18                               |  |
| 22  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1094.34                                       | 2273.52                               |  |
| 23  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 1003.98                                       | 3277.50                               |  |
| 24  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 921.08  | 4198.58                               |  |
| 25  |                    | 14929.20                       | 0.517                                | 7711.35                        | 424.60         | 7286.75                     | 845.03  | 5043.61                               |  |
|     |                    |                                |                                      | <b>TIR (%)</b>                 |                | <b>10.00 %</b>              | <b>S/. 5 043.61</b>                           |                                       |  |
|     |                    |                                |                                      | <b>Año de repago (Pay-Bac)</b> |                | <b>20.01</b>                |   |                                       |  |
|     |                    |                                |                                      | <b>Interés para VAN</b>        |                | <b>9.00 %</b>               |   |                                       |  |
|     |                    |                                |                                      | <b>VAN</b>                     |                | <b>S/. 5 043.61</b>         |   |                                       |  |

Nota. Precios Incluyen IGV. Interés para VAN 9 %. Muestra un tiempo de recuperación a largo plazo 20 años.

## V Discusión

Se evaluó la radiación solar en el caserío San Lorenzo para diferentes ángulos de inclinación con datos de la NASA. La radiación para el ángulo óptimo calculado ( $7.693^\circ$ ) resultó  $3.77 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , en el mes más desfavorable febrero, radiación más que suficiente para el diseño del sistema fotovoltaico. Datos muy cercanos a los encontrados por Bermeo y Silva (2022), que también evalúan la radiación solar para el diseño de un sistema de bombeo, tomaron el mes más desfavorable para el ángulo de inclinación óptima calculada ( $7.44^\circ$ ) que resulta  $3.69 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ . Herrera y Vera (2020) cuya radiación en el mes más desfavorable resultó de  $3.68 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , y una inclinación óptima de ( $7.88^\circ$ ). Por otra parte Sado et al.(2018), consideran los factores dominantes del sistema, como el efecto de la radiación solar sobre la potencia del motor, la corriente y la descarga de agua, para riego de plantaciones de maíz, considerando el ángulo de inclinación óptimo para la ciudad de Duhok, Irak. Resultados coincidentes con algunos autores referenciados, debido a que las zonas de estudio son muy cercanas y con condiciones de radiación solar similares.

Se determinó la demanda de agua para riego de maíz en el caserío San Lorenzo. El área de la parcela (01 hectárea), el requerimiento de agua es  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  para la máxima evaporación durante la tercera etapa (floración y formación de frutos, hasta la maduración). Datos similares a los considerados por Bermeo y Silva (2022), que considera el requerimiento de agua es  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  para el cultivo de maíz. Así mismo de acuerdo al reporte de la NASA la humedad relativa, varía en los meses de mayo a noviembre, y se tiene humedades relativas más bajas. Además, meses como febrero, mayo, agosto y septiembre se tuvo las precipitaciones diarias más bajas. Esto evidencia que son los meses que se necesita de más agua para el cultivo de maíz. Por otra parte Sado et al.(2018) presenta un nuevo método para medir el contenido de humedad en el suelo y el nivel suficiente de humedad necesario para el crecimiento normal del cultivo, para diseñar un temporizador para que el sistema reduzca la cantidad de agua desperdiciada. Los sensores de humedad se utilizan para comprobar la disponibilidad de agua en el suelo y permitir que el microcontrolador controle el estado de funcionamiento de la bomba.

Se determinó que la potencia del sistema de bombeo de agua en el caserío San Lorenzo para cultivo de 01 hectárea de maíz, resultó  $10.11 \text{ kWh/día}$ , para una demanda hídrica de  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $20.54 \text{ m}^3/\text{h}$ ), altura manométrica de  $48.95 \text{ m}$  que incluye pérdidas del 10 %. La energía

eléctrica de potencia máxima fue de 25.28 kWh/día. Considerando que el sistema funcione por 3.77 hora aprovechables de sol para el peor mes en radiación, se obtuvo que la potencia teórica necesaria del motor es de aproximadamente 7 kW. Coincide o guarda relación Bermeo y Silva (2022) que obtuvo de energía 9.54 kWh/día, para una demanda hídrica de 75.8 m<sup>3</sup>/día para cultivo de 01 hectárea de maíz, altura de 46.20 m incluido pérdidas del 10 %. Los requerimientos de agua y electricidad son mayores a los encontrados por Dávalos (2019), para cultivo de yuca (40 m<sup>3</sup>/día) que requiere 3.181 kWh/día de energía hídrica. También es muy superior a los datos encontrados por Herrera y Vera (2020), demanda de agua del cultivo de café de 32 m<sup>3</sup>/día, energía hidráulica de 0.96 kWh/día y altura total equivalente de 11 m. Los resultados son diferentes debido a que el requerimiento de agua es para diferentes plantaciones, además para el estudio se estimó el requerimiento de agua para cada fase de cultivo de maíz, y se tomó como el más alto, por otro lado, las alturas manométricas varían debido a la topologías del terreno.

Se calculó y se seleccionó los componentes del sistema de bombeo de agua fotovoltaico, 26 paneles fotovoltaico SpolarPV SP460M6-96 de 460 Wp, 48 V; 01 inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW, voltaje de entrada: 500-750V CC, y salida: 380V CA; y 01 electrobomba centrífuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, 11 kW, 380V CA trifásica, caudal pico 52.61 m<sup>3</sup>/h, que puede disponer de una altura de 48.95 m, y un  $NPSH_{req}$  del fabricante menor al  $NPSH_{disp}$  calculado, y que cumple con el diseño ( $8.16m \geq NPSH_{req}$ ), no existiendo riesgo de cavitación. También se pudo verificar, que la electrobomba F50/250C (9.2 kW), cumple con el requerimiento de potencia y  $NPSH_{req}$ , pero no con la altura máxima para el caudal pico calculado; y diámetro de tubería es de 2 1/2 pulgadas. Resultados tienen coincidencia con Bermeo y Silva (2022), a diferencia que seleccionaron una electrobomba sumergible Caprari E6SX55/3X+MACW612A, pudiendo dar una potencia 9.2 kW, 380 V CA, soportar un caudal pico de 48.89 m<sup>3</sup>/h, y disponer de una altura de 48 m; la potencia del generador fotovoltaico 11.28 kWp, el bombeo requiere 24 paneles monocristalinos SpolarPV SP470M6-96, 470 Wp, 48 V. Por otra parte también seleccionaron un inversor trifásico de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW. Datos muy coincidentes debido a que el riego en ambos estudios es para una hectárea de cultivo de maíz, y con la misma demanda de agua, radiación y altura manométrica muy similar. Y selección de algunos quipos similares por disponibilidad en el mercado.

La evaluación técnica y económica del sistema de bombeo fotovoltaico se evaluó para 25 años, tomando un interés para el VAN del 10 % resultó no rentable. Asimismo se evaluó con un interés para el VAN del 9 % resultando rentable, con un VAN de S/. 5043.61 positivo, con un tiempo de recuperación a largo plazo de 20 años; para la evaluación económica se consideró un LCOE calculado de 0.517 S/./kWh; se consideró en el año 10 un costo de reinversión de S/.10550.00 para el inversor solar y la bomba. La evaluación económica respecto a la red eléctrica del concesionario no se ha visto conveniente en esta investigación, debido que la red eléctrica de distribución en media tensión (MT) se encuentra muy alejada de la zona de estudio, aproximadamente a 4.5 km; que para su implementación se necesitaría un sistema de utilización en MT, que comprende red primaria, transformix, transformador y tableros con pliegos tarifarios MT2 y MT3, y que los costos para su implementación son mayores al sistema de bombeo fotovoltaico propuesto.

Resultados de evaluación económica coinciden con Bermeo y Silva (2022), que obtuvieron un VAN de S/. 7 933.12 positivo, y un TIR de 12 % con un tiempo de recuperación a largo plazo de aproximadamente 15 años; para la evaluación económica determinaron un LCOE calculado de 0.67 S/./kWh, evaluaron tomando un interés para el VAN de 10 %, y la vida útil 20, también consideró un costo de reinversión de S/.11500.00 para el inversor y la bomba. Criterios de evaluación económica también es parcialmente consistente con Herrera y Vera (2020), a diferencia que los criterios de evaluación económica es respecto a generadores monofásicos a gasolina establecidos en su estudio.

## Conclusiones

- Se evaluó la radiación solar en el caserío San Lorenzo para diferentes ángulos de inclinación. La radiación para el ángulo óptimo calculado ( $7.693^\circ$ ) resultó  $3.77 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , en el mes más desfavorable febrero, radiación más que suficiente para el diseño del sistema fotovoltaico.
- Se determinó la demanda de agua para riego de maíz en el caserío San Lorenzo. El área de la parcela (01 hectárea), por lo tanto el requerimiento de agua es  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  para la máxima evaporación durante la tercera etapa (floración y formación de frutos, hasta la maduración).
- Se determinó que la potencia del sistema de bombeo de agua fotovoltaico en el caserío San Lorenzo para cultivo de 01 hectárea de maíz, resultó  $10.11 \text{ kWh/día}$ , para una demanda hídrica de  $75.8 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $20.54 \text{ m}^3/\text{h}$ ), altura manométrica de  $48.95 \text{ m}$  que incluye pérdidas del 10 %. La energía eléctrica de potencia máxima fue de  $25.28 \text{ kWh/día}$ . Considerando que el sistema funcione por 3.77 hora aprovechables de sol para el peor mes en radiación, se obtuvo una potencia teórica necesaria del motor de aproximadamente 7 kW.
- Se calculó y se seleccionó los componentes del sistema de bombeo de agua fotovoltaico, 26 paneles fotovoltaico SpolarPV SP460M6-96 de 460 Wp, 48 V; 01 inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW, voltaje 500-750V CC, y salida 380V CA; 01 electrobomba centrífuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, 11 kW, trifásica 380 V CA, que cumple con la altura manométrica, caudal pico, y con el  $NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$  ( $8.16\text{m} \geq NPSH_{req}$ ), no existiendo riesgo de cavitación. Se determinó que el diámetro de tubería es de 2 1/2 pulgadas.
- La evaluación técnica y económica del sistema de bombeo fotovoltaico se evaluó para 25 años, tomando un interés para el VAN del 10% resultó no rentable. Asimismo se evaluó con un interés para el VAN del 9% resultando rentable, con un VAN de S/. 5043.61 positivo, con un tiempo de recuperación a largo plazo de 20 años; para la evaluación económica se consideró un LCOE calculado de  $0.517 \text{ S/./kWh}$ ; se consideró en el año 10, un costo de reinversión de S/.10550.00 para el inversor solar y la bomba.



## **Recomendaciones**

- Evaluar económicamente el proyecto, tomando en cuenta otras tasas de descuento para el LCOE, para proyectos que se cubren con inversión privada, puede adoptarse de tasas de descuento más altas. Además se recomienda a la Municipalidad Distrital de Bagua Grande, y Gobierno Regional de Amazonas la implementación de dicho proyecto, ya que desde el punto de vista ambiental es sostenible, y también resultó viable con un retorno de inversión de largo plazo.
- Como problemas abiertos, realizar la evaluación económica respecto a otros escenarios, red eléctrica, grupo electrógeno diésel, y así justificar la viabilidad del proyecto.
- El propietario de la parcela de cultivo de maíz, debe buscar el financiamiento en algunas convocatorias para financiamiento de proyectos de investigación en energías renovables. Así mismo deberá hacer de conocimiento al Gobierno Regional de Amazonas, para la implementación de proyectos de sistemas de bombeo fotovoltaico para la agricultura, donde se presenten condiciones similares de radiación y potencia requerida, favoreciendo de esta manera a los pequeños agricultores a mejorar su calidad de vida.

## Referencias bibliográficas

- Al-Badi, A., Yousef, H., Al Mahmoudi, T., Al-Shammaki, M., Al-Abri, A., y Al-Hinai, A. (2018). Sizing and modelling of photovoltaic water pumping system. *International Journal of Sustainable Energy*, 37(5), 415-427. <https://doi.org/10.1080/14786451.2016.1276906>
- Al-shamani, A. N., Yusof, M., Othman, H., Mat, S., Ruslan, M. H., Abed, A. M., y Sopian, K. (2013). Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq. *Recent Advances in Renewable Energy Sources*, January, 145-150. <https://pdfs.semanticscholar.org/ac10/c05f8a9e233407132e0e86161f47c4840e98.pdf>
- Area, I., Total, W., Eisenhauer, D. E., Martin, D. L., y Heeren, D. M. (2021). *Chapter 1 Introduction to Irrigation* (pp. 1-9).
- Bermeo, E., y Silva, A. (2022). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro Poblado Puerto Tamborapa, distrito de Chirinos -San Ignacio [Universidad Nacional de Jaén]. En *Universidad Nacional De Jaén*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/407>
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M., y Chandel, R. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Chilundo, R. J., Mahanjane, U. S., y Neves, D. (2018). Design and Performance of Photovoltaic Water Pumping Systems: Comprehensive Review towards a Renewable Strategy for Mozambique. *Journal of Power and Energy Engineering*, 06(07), 32-63. <https://doi.org/10.4236/jpee.2018.67003>
- Datsios, Z. G., y Mikropoulos, P. N. (2012). *Safe grounding system design for a photovoltaic power station*. May 2014. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.2041>
- Dávalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/100>
- European Parliamentary Research Service (EPRS). (2019). Irrigation in EU Agriculture. En *Think Tank European Parliament* (Número December, pp. 1-12). [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS\\_BRI\(2019\)644216\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI(2019)644216_EN.pdf)

- García, M. F., Marino, I., Hernández, I., y Valdés, J. (2015). Cálculo del costo nivelado de la energía para una planta fotovoltaica en el noroeste de la república Mexicana. *Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa*. <https://www.researchgate.net/publication/342433294%0ACÁLCULO>
- Gonzales, J. A. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica* (ENFOQUES CONSULTING EIRL (ed.); 1 era Edic). <https://www.researchgate.net/publication/350072286%0ATÉCNICAS>
- Guillen, O. (2015). *Energía eólica para generación eléctrica* (Editorial Trillas (ed.); 1era Ed.).
- Haque, M. M. (2001). Photovoltaic Water Pumping System for Irrigation. *Mechanical Engineering*, 21-26.
- Herrera, R., y Vera, J. (2020). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro Poblado Roblepampa, Utcubamba – Amazonas* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/283>
- IDAE. (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Pliego. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. [www.idae.es](http://www.idae.es)
- Jiao, L., Simon, A., Barrera, H., Acharya, V., y Repke, W. (2016). Design and development of a solar powered mobile laboratory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 40(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/40/1/012039>
- Kumar, D. (2015). Economic Assessment of Photovoltaic Energy Production Prospects in India. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 425-436. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.042>
- López, P. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69-74. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- Maya, E. (2014). Métodos y técnicas de investigación. En *Universidad Nacional Autónoma de México* (1a ed. Ele). Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2418/metodos\\_y\\_tecnicas.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2418/metodos_y_tecnicas.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- 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*, 7(2), 73-88. <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/95/89>

- Miran, S., Tamoor, M., Kiren, T., Raza, F., Hussain, M. I., y Kim, J. T. (2022). Optimization of Standalone Photovoltaic Drip Irrigation System: A Simulation Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148515>
- Ortega, R., y Diez, E. (2013). *Instalación de un sistema de riego por goteo para el cultivo del maíz San Cebrián de Campos en (Palencia)* [Universidad de Valladolid - Campus de Soria]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/3357>
- Pareja, M. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación Aislada*. (Marcombo (ed.); 3era Ed.).
- Sado, K. A., Hassan, L. H., y Moghavvemi, M. (2018a). Design of a PV-powered DC water pump system for irrigation: A case study. *Proceedings - 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2018, April 2021*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2018.8542072>
- Sado, K. A., Hassan, L. H., y Moghavvemi, M. (2018b, noviembre 20). Design of a PV-powered DC water pump system for irrigation: A case study. *Proceedings - 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2018*. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2018.8542072>
- Salome, E., y Panduro, H. (2020). *Manual de Metodología de la Investigación Científica* (Editorial Universitaria UPA (ed.); Cuarta Edición).
- Shinde, V., y Wandre, S. (2015). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), 2267-2273. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.9879>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., y Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (Vol. 66). <https://doi.org/978-92-5-308564-4>
- Teves, R. (2018). *Large power hybrid PV pumping for irrigation* (Número 21) [Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/>
- Valenzuela, C. (2021). *Diseño de sistema de riego solar off grid para pequeños agricultores de la comunidad Atacameña de Peine, Región de Antofagasta* [Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/53315/185835286UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zamora-Salgado, S., Ruiz-Espinoza, F. H., Beltrán-Morales, F. A., Fenech-Larios, L., Murillo-Amador, B., Loya-Ramírez, J., y Troyo-Diéguez, E. (2011). Régimen hídrico del maíz en una zona árida, determinado en porcentajes de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 181-186.

## **Anexos**

# Anexo 01

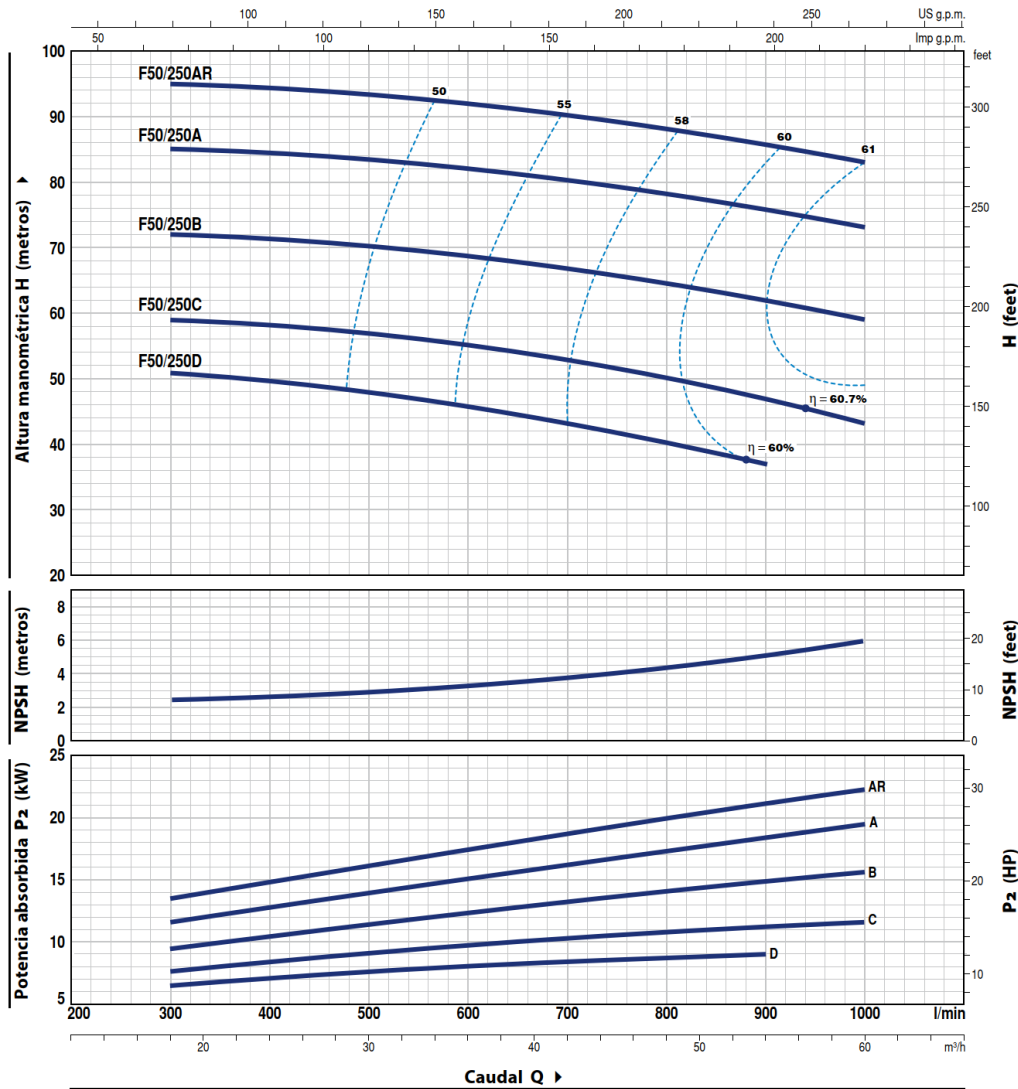
## Datos técnicos de bombas centrifugas de superficie

### F50/250



#### CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m



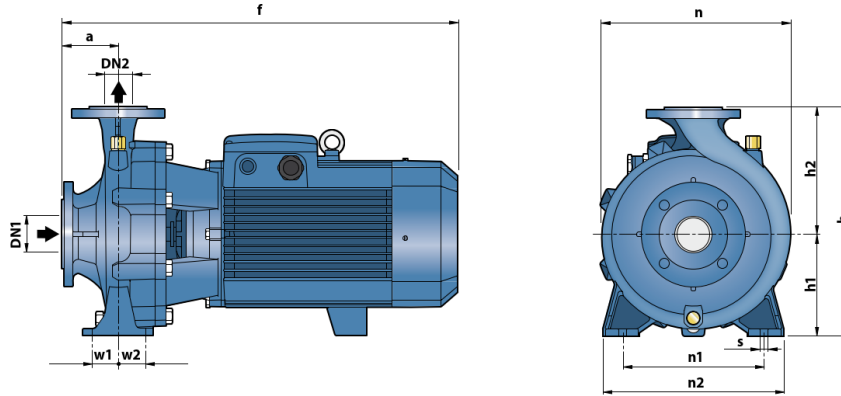
| MODELO     | POTENCIA (P <sub>2</sub> ) |      | Q        | H                 |     |     |     |     |     |     |     |      |    |  |  |
|------------|----------------------------|------|----------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|--|--|
|            | kW                         | HP   |          | m <sup>3</sup> /h | 0   | 18  | 24  | 30  | 36  | 42  | 48  | 54   | 60 |  |  |
| Trifásica  |                            |      | l/min    | 0                 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |    |  |  |
| F 50/250D  | 9.2                        | 12.5 | H metros | 51                | 51  | 49  | 47  | 44  | 41  | 37  | 32  |      |    |  |  |
| F 50/250C  | 11                         | 15   |          | 59                | 59  | 58  | 57  | 54  | 51  | 47  | 42  |      |    |  |  |
| F 50/250B  | 15                         | 20   |          | 72                | 72  | 71  | 70  | 69  | 67  | 65  | 62  | 59   |    |  |  |
| F 50/250A  | 18.5                       | 25   |          | 85                | 85  | 84  | 83  | 82  | 80  | 78  | 76  | 73   |    |  |  |
| F 50/250AR | 22                         | 30   |          | 95                | 95  | 94  | 93  | 92  | 90  | 88  | 86  | 83   |    |  |  |

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

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

# F

## DIMENSIONES Y PESOS



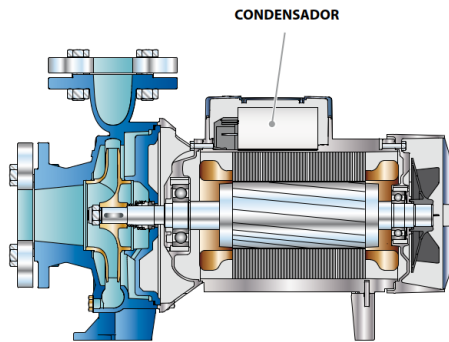
| MODELO     |            | BOCAS |     | DIMENSIONES mm |         |         |     |     |      |       |      |       |       |    | kg * |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
|------------|------------|-------|-----|----------------|---------|---------|-----|-----|------|-------|------|-------|-------|----|------|------|---------|-----|-----|------|-----|-------|-----|------|------|----|------|------|
| Monofásica | Trifásica  | DN1   | DN2 | a              | f       | h       | h1  | h2  | n    | n1    | n2   | w1    | w2    | s  | 1~   | 3~   |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| Fm 32/160C | F 32/160C  | 50    | 32  | 80             | 412     | 292     | 132 | 160 | 242  | 190   | 240  | 35    | 35    | 14 | 39.2 | 37.0 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| Fm 32/160B | F 32/160B  |       |     |                | 448/412 |         |     |     |      |       |      |       |       |    | 42.6 | 38.5 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/160A  |       |     |                | 448     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | -    | 42.6 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/200C  |       |     |                | 469     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | -    | 52.0 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/200B  |       |     |                | 515     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | -    | 57.0 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/200A  |       |     |                | 515     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | 340  | 160  | 180     | 270 | -   | 61.0 |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/200BH |       |     |                | 469     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | -    | 47.9 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 32/200AH |       |     |                | 469     |         |     |     |      |       |      |       |       |    | -    | 51.1 |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| Fm 40/160C | F 40/160C  |       |     |                | 65      |         |     |     |      |       |      |       |       |    | 40   | 80   | 448/412 | 292 | 132 | 160  | 240 | 212   | 265 | 47.5 | 47.5 | 14 | 43.9 | 40.0 |
| -          | F 40/160B  |       |     |                |         |         |     |     |      |       |      |       |       |    |      |      | 448     |     |     |      |     |       |     |      |      |    | -    | 44.0 |
| -          | F 40/160A  | 465   | -   | 50.1           |         |         |     |     |      |       |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 40/200B  | 535   | 340 | 160            |         | 180     | 275 | 212 | 265  | -     | 61.0 |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 40/200A  | 535   | 340 | 160            |         | 180     | 275 | 212 | 265  | -     | 67.0 |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 40/250C  | 606   | 405 | 180            |         | 225     | 328 | 250 | 320  | 47.5  | 47.5 | -     | 103.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 40/250B  | 701   | 405 | 180            |         | 225     | 328 | 250 | 320  | 47.5  | 47.5 | -     | 109.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 40/250A  | 701   | 405 | 180            |         | 225     | 328 | 250 | 320  | 47.5  | 47.5 | -     | 125.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| Fm 50/125C | F 50/125C  | 65    | 50  | 100            |         | 465/431 | 292 | 132 | 160  | 242   | 190  | 240   | 35    | 35 |      |      | 14      |     |     |      |     |       |     |      |      |    | 44.2 | 40.1 |
| -          | F 50/125B  |       |     |                |         | 465     |     |     |      |       |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    | -    | 44.1 |
| -          | F 50/125A  |       |     |                | 484     | -       |     |     |      |       |      |       |       |    | 50.7 |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/160C  |       |     |                | 489     | -       |     |     |      |       |      |       |       |    | 55.0 |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/160B  |       |     |                | 535     | 340     |     |     |      |       |      |       |       |    | 160  | 180  |         | 269 | 212 | 265  | -   | 60.6  |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/160A  |       |     |                | 535     | 340     |     |     |      |       |      |       |       |    | 160  | 180  |         | 269 | 212 | 265  | -   | 64.7  |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/200C  |       |     |                | 616     | 360     |     |     |      |       |      |       |       |    | 160  | 180  |         | 269 | 212 | 265  | -   | 106.0 |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/200B  |       |     |                | 711     | 360     |     |     |      |       |      |       |       |    | 200  | 316  |         | 316 | 212 | 265  | -   | 128.0 |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/200A  |       |     |                | 711     | 360     |     |     |      |       |      |       |       |    | 200  | 316  |         | 316 | 212 | 265  | -   | 135.0 |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/200AR |       |     |                | 743     | 360     |     |     |      |       |      |       |       |    | 200  | 316  |         | 316 | 212 | 265  | -   | 147.0 |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/250D  | 606   | 405 | 180            | 225     | 337     | 250 | 320 | -    | 106.0 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/250C  | 606   | 405 | 180            | 225     | 337     | 250 | 320 | -    | 113.4 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/250B  | 701   | 405 | 180            | 225     | 337     | 250 | 320 | -    | 129.6 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/250A  | 701   | 405 | 180            | 225     | 337     | 250 | 320 | -    | 146.0 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 50/250AR | 733   | 405 | 180            | 225     | 337     | 250 | 320 | -    | 155.0 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/125C  | 511   | 340 | 160            | 180     | 291     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 62.7  |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/125B  | 557   | 340 | 160            | 180     | 291     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 66.8  |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/125A  | 557   | 340 | 160            | 180     | 291     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 74.0  |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/160C  | 621   | 360 | 200            | 300     | 300     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 100.0 |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/160B  | 621   | 360 | 200            | 300     | 300     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 106.5 |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/160A  | 716   | 360 | 200            | 300     | 300     | 212 | 280 | 47.5 | 47.5  | -    | 123.0 |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/200B  | 719   | 405 | 180            | 225     | 340     | 250 | 320 | -    | 128.0 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/200A  | 719   | 405 | 180            | 225     | 340     | 250 | 320 | -    | 125.0 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 65/200AR | 751   | 405 | 180            | 225     | 340     | 250 | 320 | -    | 153.1 |      |       |       |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 80/160D  | 652   | 405 | 180            | 225     | 330     | 250 | 320 | 60   | 60    | 18   | -     | 111.5 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 80/160C  | 652   | 405 | 180            | 225     | 330     | 250 | 320 | 60   | 60    | 18   | -     | 126.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 80/160B  | 747   | 405 | 180            | 225     | 330     | 250 | 320 | 60   | 60    | 18   | -     | 143.5 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 80/160A  | 779   | 405 | 180            | 225     | 330     | 250 | 320 | 60   | 60    | 18   | -     | 153.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |
| -          | F 100/160A | 790   | 480 | 200            | 280     | 362     | 280 | 360 | 60   | 60    | 18   | -     | 165.0 |    |      |      |         |     |     |      |     |       |     |      |      |    |      |      |

(\*weight includes counterflanges)

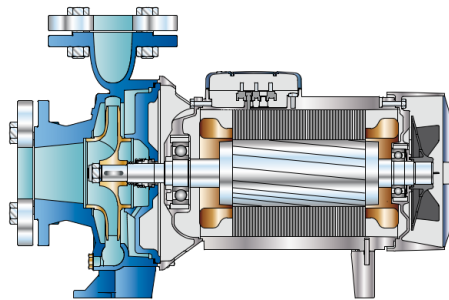
## CONSUMO EN AMPERIOS

| MODELO     | TENSION (monofásica) |
|------------|----------------------|
| Monofásica | 220 V                |
| Fm 32/160C | <b>11.0 A</b>        |
| Fm 32/160B | <b>15.0 A</b>        |
| Fm 40/160C | <b>16.0 A</b>        |
| Fm 50/125C | <b>17.0 A</b>        |

| MODELO     | TENSION (trifásica) |                |               |               |               |
|------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
|            | 220 V               | 380 V          | 660 V         | 220 V         | 440 V         |
| Trifásica  |                     |                |               |               |               |
| F 32/160C  | <b>7.8 A</b>        | <b>4.5 A</b>   | <b>2.6 A</b>  | <b>8.0 A</b>  | <b>4.5 A</b>  |
| F 32/160B  | <b>10.0 A</b>       | <b>5.8 A</b>   | <b>3.4 A</b>  | <b>9.5 A</b>  | <b>5.5 A</b>  |
| F 32/160A  | <b>12.1 A</b>       | <b>7.0 A</b>   | <b>4.0 A</b>  | <b>12.1 A</b> | <b>6.5 A</b>  |
| F 32/200C  | <b>18.9 A</b>       | <b>10.9 A</b>  | <b>6.3 A</b>  | <b>18.5 A</b> | <b>12.3 A</b> |
| F 32/200B  | <b>24.0 A</b>       | <b>13.9 A</b>  | <b>8.0 A</b>  | <b>22.0 A</b> | <b>13.8 A</b> |
| F 32/200A  | <b>27.0 A</b>       | <b>15.6 A</b>  | <b>9.0 A</b>  | <b>27.0 A</b> | <b>18.0 A</b> |
| F 32/200BH | <b>13.5 A</b>       | <b>7.8 A</b>   | <b>4.5 A</b>  | <b>12.7 A</b> | <b>7.7 A</b>  |
| F 32/200AH | <b>18.0 A</b>       | <b>10.4 A</b>  | <b>6.0 A</b>  | <b>17.5 A</b> | <b>11.0 A</b> |
| F 40/160C  | <b>10.0 A</b>       | <b>5.8 A</b>   | <b>3.4 A</b>  | <b>8.7 A</b>  | <b>5.0 A</b>  |
| F 40/160B  | <b>12.0 A</b>       | <b>6.9 A</b>   | <b>4.0 A</b>  | <b>12.1 A</b> | <b>6.5 A</b>  |
| F 40/160A  | <b>20.9 A</b>       | <b>12.1 A</b>  | <b>7.0 A</b>  | <b>19.5 A</b> | <b>12.5 A</b> |
| F 40/200B  | <b>28.5 A</b>       | <b>16.5 A</b>  | <b>9.5 A</b>  | <b>22.7 A</b> | <b>15.4 A</b> |
| F 40/200A  | <b>30.9 A</b>       | <b>17.8 A</b>  | <b>10.3 A</b> | <b>28.5 A</b> | <b>21.8 A</b> |
| F 40/250C  | <b>38.0 A</b>       | <b>22.0 A</b>  | <b>12.7 A</b> | <b>39.8 A</b> | <b>20.0 A</b> |
| F 40/250B  | <b>43.0 A</b>       | <b>25.0 A</b>  | <b>14.5 A</b> | <b>36.5 A</b> | <b>21.0 A</b> |
| F 40/250A  | <b>57.0 A</b>       | <b>33.0 A</b>  | <b>19.1 A</b> | <b>60.0 A</b> | <b>34.0 A</b> |
| F 50/125C  | <b>10.7 A</b>       | <b>6.2 A</b>   | <b>3.6 A</b>  | <b>9.8 A</b>  | <b>6.7 A</b>  |
| F 50/125B  | <b>11.3 A</b>       | <b>6.5 A</b>   | <b>3.8 A</b>  | <b>12.0 A</b> | <b>6.5 A</b>  |
| F 50/125A  | <b>18.2 A</b>       | <b>10.5 A</b>  | <b>6.1 A</b>  | <b>19.0 A</b> | <b>12.5 A</b> |
| F 50/160C  | <b>17.7 A</b>       | <b>10.3 A</b>  | <b>6.0 A</b>  | <b>16.4 A</b> | <b>12.5 A</b> |
| F 50/160B  | <b>21.0 A</b>       | <b>12.0 A</b>  | <b>6.9 A</b>  | <b>20.8 A</b> | <b>13.5 A</b> |
| F 50/160A  | <b>28.0 A</b>       | <b>16.5 A</b>  | <b>9.5 A</b>  | <b>26.7 A</b> | <b>17.5 A</b> |
| F 50/200C  | <b>46.0 A</b>       | <b>26.5 A</b>  | <b>15.3 A</b> | <b>47.0 A</b> | <b>25.0 A</b> |
| F 50/200B  | <b>54.0 A</b>       | <b>31.2 A</b>  | <b>18.0 A</b> | <b>58.0 A</b> | <b>30.0 A</b> |
| F 50/200A  | <b>67.5 A</b>       | <b>39.0 A</b>  | <b>22.5 A</b> | <b>70.0 A</b> | <b>36.0 A</b> |
| F 50/200AR | <b>87.0 A</b>       | <b>51.0 A</b>  | <b>29.5 A</b> | <b>78.0 A</b> | <b>45.0 A</b> |
| F 50/250D  | <b>32.5 A</b>       | <b>18.5 A</b>  | <b>10.7 A</b> | <b>29.5 A</b> | <b>17.0 A</b> |
| F 50/250C  | <b>43.0 A</b>       | <b>25.0 A</b>  | <b>14.5 A</b> | <b>36.5 A</b> | <b>21.0 A</b> |
| F 50/250B  | <b>52.0 A</b>       | <b>30.0 A</b>  | <b>17.3 A</b> | <b>50.0 A</b> | <b>26.0 A</b> |
| F 50/250A  | <b>64.0 A</b>       | <b>37.0 A</b>  | <b>21.4 A</b> | <b>70.0 A</b> | <b>36.0 A</b> |
| F 50/250AR | <b>82.0 A</b>       | <b>48.0 A</b>  | <b>27.7 A</b> | <b>77.0 A</b> | <b>44.0 A</b> |
| F 65/125C  | <b>18.0 A</b>       | <b>10.4 A</b>  | <b>6.0 A</b>  | <b>19.5 A</b> | <b>12.5 A</b> |
| F 65/125B  | <b>22.5 A</b>       | <b>13.0 A</b>  | <b>7.5 A</b>  | <b>22.0 A</b> | <b>13.8 A</b> |
| F 65/125A  | <b>28.8 A</b>       | <b>16.6 A</b>  | <b>9.6 A</b>  | <b>32.0 A</b> | <b>19.5 A</b> |
| F 65/160C  | <b>37.0 A</b>       | <b>21.5 A</b>  | <b>12.4 A</b> | <b>37.0 A</b> | <b>24.0 A</b> |
| F 65/160B  | <b>47.0 A</b>       | <b>27.0 A</b>  | <b>15.6 A</b> | <b>48.0 A</b> | <b>26.0 A</b> |
| F 65/160A  | <b>55.0 A</b>       | <b>32.0 A</b>  | <b>18.5 A</b> | <b>59.0 A</b> | <b>33.0 A</b> |
| F 65/200B  | <b>57.0 A</b>       | <b>33.0 A</b>  | <b>19.0 A</b> | <b>58.5 A</b> | <b>27.0 A</b> |
| F 65/200A  | <b>65.5 A</b>       | <b>38.0 A</b>  | <b>22.0 A</b> | <b>71.0 A</b> | <b>33.0 A</b> |
| F 65/200AR | <b>79.5 A</b>       | <b>46.0 A</b>  | <b>26.0 A</b> | <b>85.0 A</b> | <b>38.0 A</b> |
| F 65/250C  | -                   | <b>64.0 A</b>  | <b>37.0 A</b> | -             | -             |
| F 65/250B  | -                   | <b>75.5 A</b>  | <b>44.0 A</b> | -             | -             |
| F 65/250A  | -                   | <b>90.8 A</b>  | <b>52.5 A</b> | -             | -             |
| F 80/160D  | <b>45.0 A</b>       | <b>26.0 A</b>  | <b>15.0 A</b> | <b>50.0 A</b> | <b>27.0 A</b> |
| F 80/160C  | <b>59.0 A</b>       | <b>34.0 A</b>  | <b>19.7 A</b> | <b>60.0 A</b> | <b>30.0 A</b> |
| F 80/160B  | <b>66.0 A</b>       | <b>38.0 A</b>  | <b>22.0 A</b> | <b>70.0 A</b> | <b>36.0 A</b> |
| F 80/160A  | <b>93.5 A</b>       | <b>54.0 A</b>  | <b>31.2 A</b> | <b>80.0 A</b> | <b>46.0 A</b> |
| F 80/200B  | -                   | <b>64.0 A</b>  | <b>37.0 A</b> | -             | -             |
| F 80/200A  | -                   | <b>75.5 A</b>  | <b>44.0 A</b> | -             | -             |
| F 80/250B  | -                   | <b>90.8 A</b>  | <b>52.5 A</b> | -             | -             |
| F 80/250A  | -                   | <b>112.0 A</b> | <b>65.0 A</b> | -             | -             |
| F 100/160A | <b>90.0 A</b>       | <b>52.0 A</b>  | <b>30.1 A</b> | <b>78.0 A</b> | <b>45.0 A</b> |
| F 100/200C | -                   | <b>64.0 A</b>  | <b>37.0 A</b> | -             | -             |
| F 100/200B | -                   | <b>75.5 A</b>  | <b>44.0 A</b> | -             | -             |
| F 100/200A | -                   | <b>90.8 A</b>  | <b>52.5 A</b> | -             | -             |
| F 100/250B | -                   | <b>112.0 A</b> | <b>65.0 A</b> | -             | -             |
| F 100/250A | -                   | <b>151.0 A</b> | <b>87.0 A</b> | -             | -             |



Versión monofásica



Versión trifásica



## Anexo 02

### Datos técnicos de paneles fotovoltaicos

#### Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC) / Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

| Module Type                     | SP460M6-96    | SP465M6-96    | SP470M6-96    | SP475M6-96    | SP480M6-96    |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximum Power -Pmax (W)         | 460 / 341     | 465 / 345     | 470 / 348     | 475 / 352     | 480 / 356     |
| Maximum Power Voltage - Vmp (V) | 51.19 / 49.33 | 51.46 / 47.73 | 51.73 / 48.13 | 52.23 / 48.40 | 52.73 / 48.66 |
| Maximum Power Current - Imp (A) | 8.98 / 6.91   | 9.03 / 7.22   | 9.08 / 7.23   | 9.09 / 7.27   | 9.10 / 7.31   |
| Open-circuit Voltage - Voc (V)  | 62.11 / 58.30 | 62.50 / 58.40 | 62.60 / 58.80 | 62.90 / 59.20 | 63.46 / 59.59 |
| Short-circuit Current - Isc (A) | 9.61 / 7.59   | 9.66 / 7.67   | 9.75 / 7.69   | 9.81 / 7.72   | 9.82 / 7.76   |
| Module Efficiency STC (%)       | 17.95%        | 18.15%        | 18.34%        | 18.54%        | 18.73%        |

#### Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC) / Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

| Module Type                      | SP485M6-96    | SP490M6-96    | SP495M6-96                         | SP500M6-96    | SP505M6-96    | SP510M6-96    |
|----------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximum Power -Pmax (W)          | 485 / 359     | 490 / 363     | 495 / 367                          | 500 / 371     | 505 / 374     | 510 / 378     |
| Maximum Power Voltage - Vmp (V)  | 53.1 / 48.91  | 53.48 / 49.24 | 53.85 / 49.69                      | 54.21 / 50.27 | 54.53 / 50.58 | 54.85 / 51.47 |
| Maximum Power Current - Imp (A)  | 9.13 / 7.34   | 9.16 / 7.37   | 9.19 / 7.38                        | 9.22 / 7.38   | 9.26 / 7.39   | 9.29 / 7.41   |
| Open-circuit Voltage - Voc (V)   | 64.22 / 60.73 | 64.57 / 60.91 | 64.96 / 61.28                      | 65.32 / 61.68 | 65.61 / 61.79 | 65.96 / 61.98 |
| Short-circuit Current - Isc (A)  | 9.81 / 7.68   | 9.86 / 7.74   | 9.89 / 7.78                        | 9.94 / 7.81   | 9.99 / 7.86   | 10.04 / 7.92  |
| Module Efficiency STC (%)        | 18.93%        | 19.12%        | 19.32%                             | 19.51%        | 19.71%        | 19.90%        |
| Power tolerance                  | 0~+5W         |               | Operating Temperature(°C)          |               | -40 C~+85 C   |               |
| Temperature coefficients of Pmax | -0.38%/C      |               | Maximum system voltage             |               | 1000/1500V    |               |
| Temperature coefficients of Voc  | -0.33%/C      |               | Maximum series fuse rating         |               | 20A           |               |
| Temperature coefficients of Isc  | 0.05%/C       |               | Nominal operating cell temperature |               | 45±2 C        |               |

#### Mechanical Characteristics

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Cell Type               | Mono-crystalline 156.75×156.75mm                         |
| No.of cells             | 96 (8×12)  |
| Dimensions              | 1956×1310×40 / 45mm                                      |
| Weight                  | 26.5 kg  |
| Front Glass             | 3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass       |
| Frame                   | Anodized Aluminium Alloy                                 |
| Junction Box            | IP67 Rated   |
| Output Cables           | 1×4.0mm <sup>2</sup> , Length:900mm or Customized Length |
| Packaging Configuration | To be determined according to customized requests        |

## Anexo 03

### Datos técnicos variador de frecuencia



## PRODUCT MANUAL

### Specification Parameter

| Hober Solar Pumping Inverter Model |  | HSP5500HA/B  | HSP7500HA/B                         | HSPL11KHA/B                         | HSPL15KHA/B                         |
|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| DC input                           | Rated Power(W)                             | 5500W  | 7500W                               | 11000W                              | 15000W                              |
|                                    | Min DC Input Voltage(V)                    | 460V   | 460V                                | 460V                                | 460V                                |
|                                    | Max DC Input voltage(V)                    | 750V   | 750V                                | 750V                                | 750V                                |
|                                    | Rated Power Of DC Input Voltage Request(V) | 500-750V   | 500-750V                            | 500-750V                            | 500-750V                            |
|                                    | MPPT efficiency                            | >99%   | >99%                                | >99%                                | >99%                                |
| AC output                          | Rated Power AC voltage (v) 3phase          | 380v   | 380v                                | 380v                                | 380v                                |
|                                    | Rated Power AC current (A)                 | 13   | 18                                  | 24                                  | 30                                  |
|                                    | Inverter efficiency                        | 99%  | 99%                                 | 99%                                 | 99%                                 |
|                                    | Output frequency(Hz)                       | 0~50/60  | 0~50/60                             | 0~50/60                             | 0~50/60                             |
| Water level sensor( water well )   |  | Yes  | Yes                                 | Yes                                 | Yes                                 |
| Water level sensor(water tank)     |  | Yes  | Yes                                 | Yes                                 | Yes                                 |
| AC Switcher                        |  | Optional   | Optional                            | Optional                            | Optional                            |
| GPRS Monitor&Controller            |  | Optional   | Optional                            | Optional                            | Optional                            |
| Protection type                    |  | Ip65<br>DC input Low/Over Voltage<br>DC Input Anti-Reverse<br>Output Overload, Output short circuit<br>Over temperature<br>Sensor of water Empty /Full ( Water empty of Well and Water full of Tank )<br>Lightning<br>Dry run protection by software |                                     |                                     |                                     |
| Operating environment:             | Noise(1 m)                                 | < 50dB   |                                     |                                     |                                     |
|                                    | Operating environment temperature          | -10 to 60 Degree   |                                     |                                     |                                     |
|                                    | Humidity                                   | 15%~95%RH  |                                     |                                     |                                     |
|                                    | Using altitude(m)                          | < 4000Altitude higher than 1000m pls consider to use less loads )  |                                     |                                     |                                     |
|                                    | Others                                     | Prohibiting the installation location: direct sunlight, thick dust, corrosive gas or oil mist, flammable gas, liquid.etc   |                                     |                                     |                                     |
| Adapted Pump                       | HP   | ≤7.5HP   | ≤10HP                               | ≤15HP                               | ≤20HP                               |
|                                    | Rated Power(W)                             | ≤5500W   | ≤7500W                              | ≤11000W                             | ≤15000W                             |
|                                    | Rated Frequency (Hz)                       | 0~50/60  | 0~50/60                             | 0~50/60                             | 0~50/60                             |
|                                    | Rated voltage(Vac)                         | AC-380V -3 phase   | AC-380V -3 phase                    | AC-380V -3 phase                    | AC-380V -3 phase                    |
| Solar Panel                        | Rated Power(W)                             | 1.3~1.5 times AC 3 phase pump power  | 1.3~1.5 times AC 3 phase pump power | 1.3~1.5 times AC 3 phase pump power | 1.3~1.5 times AC 3 phase pump power |