



UPA Universidad
Politécnica Amazónica

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

**Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda
hídrica de la parcela Las Pampas del caserío
Pangamito, Bagua Grande - Amazonas**

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

Autor: León Toro, Yolmer

<https://orcid.org/0000-0002-7751-163X>

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis

<https://orcid.org/0000-0002-9018-9569>

Registro: UPA-PITIM0006

Bagua Grande – Perú

2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, con todo el aprecio a mis padres que siempre me han apoyado y guiado por el camino correcto. Así mismo a mi familia, por brindarme sus consejos sabios para superarme.

Yolmer.

Agradecimiento

A mí asesor Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, quien se ha tomado su ardua labor de transmitirme sus valiosos conocimientos durante el desarrollo de la tesis.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, por compartirme sus enseñanzas durante los cinco años de estudio.

Al propietario de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, por haber brindado su autorización y apoyo para el recojo de datos.

El Autor.

Autoridades universitarias

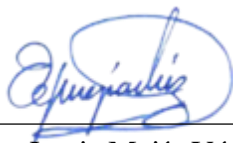
Rector : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
Coordinador de escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Visto bueno del asesor

Yo, Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al tesista Bach. Yolmer León Toro, en su tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - 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, 31 de octubre de 2023.



Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Asesor

Jurado evaluador



Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
Presidente



Mg. Ing. Juan José Castañeda León
Secretario



Mg. Ing. Emilio Periche Chunga
Vocal

Declaración jurada de no plagio

Yo, Yolmer León Toro, identificado con DNI 70561561, 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 “Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - 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, 31 de octubre de 2023.



Bach. Yolmer León Toro

DNI. 70561561


Resultado del análisis

Archivo: Informe Yolmer León Toro.docx



Estadísticas

Sospechosas en Internet: 7,71%

Porcentaje del texto con expresiones en internet .

Sospechas confirmadas: 6,04%

Confirmada existencia de los tramos en las direcciones encontradas .

Texto analizado: 73,33%

Porcentaje del texto analizado efectivamente (no se analizan las frases cortas, caracteres especiales, texto roto).

Éxito del análisis: 99,97%

Porcentaje de éxito de la investigación, indica la calidad del análisis, cuanto más alto mejor.

Direcciones más relevantes encontrados:

Dirección (URL)	Ocurrencias	Semejanza
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_b61d7555675eab939b8cedcafde9504b	39	3,21 %
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_b61d7555675eab939b8cedcafde9504b/Details	38	3,21 %
https://fips.unsa.edu.pe/eventos-2	22	2,32 %
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_7261f0a202078b116f92687817bfa691/Details	20	2,33 %
https://www.academia.edu/69716527/Design_of_a_Standalone_Photovoltaic_System_for_a_Typical_Household_around_Dessie_City_Ethiopia	18	3,02 %
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUPA_fac2c821dc59554ba8c6b395533e2267/Details	18	2,04 %

Texto analizado:

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - Amazonas

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

Autor: León Toro, Yolmer orcid.org/0000-0002-7751-163X

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis orcid.org/0000-0002-9018-9569

Registro: UPA-PITIM0006

Bagua Grande Perú 2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, con todo el aprecio a mis padres que siempre me han apoyado y guiado por el camino correcto. Así mismo a mi familia, por brindarme sus consejos sabios para superarme.

Yolmer.

Agradecimiento

A mi asesor Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, quien se ha tomado su ardua labor de transmitirme sus valiosos conocimientos durante el desarrollo de la tesis. A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, por compartirme sus enseñanzas durante los cinco años de estudio.

Al propietario de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, por haber brindado su autorización y apoyo para el recojo de datos.

El Autor.

Autoridades universitarias

Rector : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán Coordinador de escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Visto bueno del asesor

Yo Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al tesista Bach. Yolmer León Toro, en su tesis titulada Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - Amazonas. Asimismo, dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en las revisiones previas a esta presentación.

file:///C:/Users/YSIDORO/Downloads/Informe Yolmer León Toro.docx - 2023-11-14 12-11-58.html

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Autoridades universitarias.....	iv
Visto bueno del asesor.....	v
Jurado evaluador	vi
Declaración jurada de no plagio.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
I. Introducción	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación del problema.....	2
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivo general	3
1.6. Objetivos específicos.....	3
II. Marco teórico	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas	7
2.3. Definición de términos básicos.....	10
III. Material y métodos.....	12
3.1. Diseño de investigación.....	12
3.2. Población, muestra y muestreo	12
3.3. Determinación de variables	13
3.4. Fuentes de información	13

3.5.	Métodos	13
3.6.	Técnicas e instrumentos.....	13
3.7.	Procedimiento	13
3.8.	Análisis estadístico	14
3.9.	Consideraciones éticas.....	14
IV.	Resultados	15
4.1.	Determinación de la demanda de agua de la parcela Las Pampas.....	15
4.2.	Cuantificar la energía requerida del sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas	18
4.2.1	Recorrido de la tubería entre el punto de captación y la parcela Las Pampas	18
4.2.2	Cálculos de diámetros y pérdidas de las líneas primarias.....	22
4.2.3	Cálculo de la energía hidráulica.....	26
4.2.4	Cálculo energía eléctrica necesaria	26
4.3.	Cálculo y selección de los componentes del sistema de bombeo solar de la parcela Las Pampas	27
4.3.1	Selección y justificación de la electrobomba bomba.....	27
4.3.2	Cálculo potencia del generador fotovoltaico	29
4.3.3	Cálculo y selección del inversor variador de frecuencia	30
4.3.4	Cálculo y selección del sistema generación fotovoltaica.....	31
4.3.5	Cálculo y selección de protecciones eléctricas en el sistema de bombeo solar	33
4.3.6	Cálculo y selección de conductores eléctricos.....	34
4.3.7	Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos	35
4.3.8	Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para riego por aspersión.....	36
4.3.9	Arranque inalámbrico del sistema de bombeo solar	37
4.4.	Evaluación económica del sistema de bombeo solar para para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas	39
4.4.1	Costo Nivelado de Energía.....	41
4.4.2	Indicadores económicos	43

V. Discusión.....	45
Conclusiones	48
Recomendaciones.....	49
Referencias bibliográficas	50
Anexos.....	55

Índice de tablas

Tabla 1	Cantidad de agua según etapa fenológica del maíz.....	15
Tabla 2	Cantidad de agua por etapa fenológica del maíz por día	16
Tabla 3	Cantidad de demanda de agua en la etapa de mayor consumo para la parcela Las Pampas	16
Tabla 4	Radiación para diferentes ángulos de inclinación, y ángulo óptimo calculado	17
Tabla 5	Horas sol pico para el sistema de bombeo de la parcela Las Pampas.....	17
Tabla 6	Caudal requerido para suministrar agua a la parcela Las Pampas	18
Tabla 7	Alturas de los puntos tomados por curva de nivel en el recorrido de la tubería	21
Tabla 8	Resultados de cálculo de pérdidas totales	23
Tabla 9	Cálculo de altura energética para suministrar por la bomba	24
Tabla 10	Cálculo de la presión atmosférica según altura de ubicación de la bomba.....	25
Tabla 11	Cálculo de la altura positiva de aspiración.....	25
Tabla 12	Parámetros requeridos que debe cumplir la bomba a seleccionada	25
Tabla 13	Resultados de cálculo de la energía hidráulica	26
Tabla 14	Resultados de cálculo de energía eléctrica de potencia máxima, y potencia del motor	27
Tabla 15	Resultados de cálculo de la potencia del generador fotovoltaico	30
Tabla 16	Resultados de cálculo de la potencia del inversor solar para cada electrobomba	30
Tabla 17	Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado	31
Tabla 18	Calculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor de bombeo solar	31
Tabla 19	Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico	32
Tabla 20	Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema bombeo solar	34
Tabla 21	Resultados de cálculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo solar	35
Tabla 22	Presupuesto referencial sistema de bombeo solar	39
Tabla 23	Costos anuales de mantenimiento, sistema de bombeo solar	40
Tabla 24	Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico	41
Tabla 25	Resultados LCOE del sistema de bombeo solar	42
Tabla 26	Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo solar	44

Índice de figuras

Figura 1 Diseño de la investigación	12
Figura 2 Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema de bombeo solar	14
Figura 3 Recorrido de tubería toma de agua o captación hacia parcela Las Pampas.....	19
Figura 4 Continuación de recorrido de tubería toma de agua o captación hacia parcela Las Pampas	20
Figura 5 Alturas según recorrido de la tubería.....	21
Figura 6 Alturas manométricas del sistema de bombeo solar propuesto	22
Figura 7 Curva de funcionamiento electrobomba centrífugas normalizadas "EN 733"	28
Figura 8 Esquema de conexión de electrobombas para el suministro de agua a la parcela Las Pampas	29
Figura 9 Soporte inclinado abierto de aluminio, soporte premontado y anclaje en hormigón	35
Figura 10 Topología del sistema de bombeo solar.....	36
Figura 11 Distancia entre el punto de toma de agua y las parcelas Las Pampas	37
Figura 12 Comunicación entre módulos de control remoto o inalámbrico sistemas de bombeo	38
Figura 13 Controles inalámbricos industriales para sistemas de bombeo.....	38

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande-Amazonas. El tipo de investigación es básica, con un nivel de investigación descriptivo. El diseño de la investigación es descriptivo correlacional causal, no experimental. Según datos encontrados en la parcela Las Pampas, se cultiva diez hectáreas de maíz durante todo el año, el cultivo es muy vulnerable y costoso en épocas de sequías o sin lluvia por lo que la investigación se basó en generar un sistema de bombeo solar que permita abastecer la demanda hídrica desde un punto de suministro a 7.32 km de distancia de la parcela, la demanda de agua para la parcela es de 407.22 m³/h. Se seleccionó tres electrobombas centrífugas normalizadas Pedrollo F65/160B conectadas en paralelo, pudiendo dar un caudal máximo de 144 m³/h y una potencia de 11kW cada una, con un voltaje trifásica 380 V CA. Para la generación fotovoltaica se seleccionaron 102 paneles fotovoltaicos mono cristalino de 545 Wp. Por otra parte se seleccionaron tres inversores de bombeo solar Hober, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, voltaje de entrada 500-750V CD, y salida 380V CA, 60 Hz. Por último la evaluación económicamente del sistema de bombeo solar para cultivo de maíz, se evaluó a 25 años, para una tasa de interés para el VAN del 6 % resultó rentable al largo plazo 20.59 años, VAN S/. 85294.76 positivo, y el TIR 7 %; la evaluación económica se realizó con un LCOE calculado de 1.547 S/./kWh.

Palabras clave: Diseño, bombeo solar, demanda hídrica, cultivo de maíz.

ABSTRACT

The objective of this work was to design a solar pumping system for the water demand of the Las Pampas plot of the Pangamito hamlet, Bagua Grande-Amazonas. The type of research is basic, with a descriptive level of research. The research design is descriptive, causal correlational, not experimental. According to data found in the Las Pampas plot, ten hectares of corn are grown throughout the year. The crop is very vulnerable and expensive in times of drought or without rain, so the research was based on generating a solar pumping system that allows supply the water demand from a supply point 7.32 km away from the plot, the water demand for the plot is 407.22 m³/h. Three standardized Pedrollo F65/160B centrifugal electric pumps connected in parallel were selected, being able to provide a maximum flow rate of 144 m³/h and a power of 11kW each, with a three-phase voltage of 380 V AC. For photovoltaic generation, 102 monocrystalline photovoltaic panels were selected, 545 Wp. On the other hand, three Hober solar pumping inverters were selected, model HSPL15KHA/B of 15 kW, input voltage 500-750V DC, and output 380V AC, 60 Hz. Finally, the economic evaluation of the solar pumping system for corn cultivation, was evaluated for 25 years, for an interest rate for the NPV of 6%, it was profitable in the long term 20.59 years, NPV S/. 85294.76 positive, and the IRR 7%; the economic evaluation was carried out with a calculated LCOE of 1.547 S/./kWh.

Keywords: Design, solar pumping, water demand, corn cultivation.

I. Introducción

1.1. Realidad problemática

El riego es la entrega de agua a las raíces de las plantas en el momento y cantidad adecuados. De esta forma se proporciona el agua que las plantas necesitan para seguir creciendo y que no pueden obtener de forma natural. Desde el pasado hasta el presente, se han desarrollado muchos métodos para bombear agua con un consumo mínimo de energía. Se han utilizado fuentes de energía muy diferentes, como la energía humana y animal, la energía eólica, la energía solar y los combustibles fósiles (Kuzey et al., 2021).

La alta demanda hídrica en la escasez del agua es uno de los principales problemas que encuentra la agricultura lo que forma tendencias en la actualidad de que este recurso sea utilizado con mejora o mayor eficiencia cada vez, ya que se muestran aun cambios que en el futuro pueden presentar aún más restricciones en el uso de este elemento (FAO, 2019).

En el caso de Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) detalló que el 80% del agua se utiliza en el sector agrícola, pero existe un alto desperdicio, donde se muestra que solo el 30% del recurso se distribuye correctamente. Los productores agrícolas utilizan alrededor de 14 a 18 mil metros cúbicos de agua por hectárea. Aunque muchos están migrando al riego tecnificado, el uso excesivo de agua es notable, porque no cuentan con suficientes herramientas que permitan determinar el mejor aprovechamiento del agua para sus cultivos (Castro, 2021).

En Perú según el MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego) los principales problemas que afecta a la agricultura considerando la falta de agua son la poca eficiencia en la tecnología utilizada para el riego y la forma tradicional que es el riego por gravedad que usan la gran mayoría de agricultores, además de la alta demanda de agua por cultivos acondicionados a la tradición de la zona (MIDAGRI, 2015).

En la parcela Las Pampas, el riego se realiza por medio de motores de combustión interna que utiliza combustible, durante años generando gastos elevados en la operación y mantenimiento de la motobomba. Por otra parte el agua disponible más cerca de la parcela son canales de regadío y que el volumen de agua es mínimo y no cubre la demanda de agua de toda la parcela, teniendo problemas en tiempos de sequía o temporadas de bajo caudal en los canales de riego, por lo que se debe considerar una captación con mayor volumen de agua; los sembríos son maíz y deben ser atendidos como todo cultivo con recurso hídrico durante todo el año desde su siembra hasta su cosecha. La siembra de maíz es el único ingreso del propietario de la parcela.

1.2. Formulación del problema

¿Se podrá diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - Amazonas?.

1.3. Justificación del problema

1.3.1. Justificación técnica

La justificación técnica del diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico se basa en una serie de factores clave que demuestran la idoneidad de esta solución. Estos factores incluyen la disponibilidad de energía solar, la eficiencia energética, la sostenibilidad, autonomía, y bajo mantenimiento. Los componentes de los sistemas de bombeo fotovoltaico, como los paneles solares y los inversores, requieren un mantenimiento mínimo en comparación con las bombas de agua convencionales que funcionan con motores de combustión interna o electricidad de la red, esto reduce los costos a largo plazo y aumenta la confiabilidad.

1.3.2. Justificación económica

La justificación económica se basa en la reducción de costos a largo plazo, el ahorro en facturas de energía, la vida útil prolongada, la independencia de la red eléctrica convencional y la capacidad de aprovechar recursos locales. Además, los incentivos y subvenciones disponibles, junto con los beneficios ambientales, hacen que esta sea una opción atractiva desde una perspectiva económica y sostenible.

1.3.3. Justificación ambiental

La justificación ambiental se basa en su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, conservar recursos naturales, minimizar el impacto en la biodiversidad y mejorar la calidad del aire y del agua. Estos sistemas son una elección sostenible que contribuye positivamente a la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático.

1.3.4. Justificación científica

La justificación científica para el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico se apoya en los principios científicos relacionados con la conversión de energía solar en electricidad, la eficiencia energética, la óptica solar, la electrónica y la mecánica de fluidos. Estos fundamentos científicos son esenciales para crear sistemas efectivos y eficientes que aprovechan la energía solar para el bombeo de agua de manera sostenible y confiable.

1.4. Hipótesis

Si se puede diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas.

1.5. Objetivo general

Diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas.

1.6. Objetivos específicos

- Determinar la demanda de agua de la parcela Las Pampas.
- Cuantificar la energía requerida del sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas.
- Calcular y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar de la parcela Las Pampas.
- Evaluar económicamente el sistema de bombeo solar para para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Felicien (2023) en su investigación “Diseño de sistema de bombeo de agua fotovoltaico: Estudio de caso distrito de Gasabo. En el presente trabajo se dimensionó un sistema de riego solar de acuerdo a la cantidad de agua requerida en todas las etapas para el sitio de en Kajevuba del distrito de Gasabo en la ciudad de Kigali para el riego de un cultivo de maíz de una hectárea. Los datos meteorológicos del sitio, la radiación solar y la evapotranspiración de referencia se obtuvieron de la estación de Kigali utilizando el software CLIMWAT. Al ingresar esos datos en combinación con el suelo del sitio y la fecha de plantación elegida en el software CROPWAT 8.0, se determinaron la lluvia efectiva y los requisitos de agua de riego del cultivo. Los mayores promedios diarios de evapotranspiración e irradiación solar de referencia se obtuvieron para el mes de agosto con valores respectivos de 4.65 mm y 19.0 MJ/m². La mayor demanda de agua y máximo número de horas de sol se encuentran en el mes de julio con valores respectivos de 52.6 mm/dec. Para diseñar el tamaño del sistema se eligió este mes que tiene la relación más baja entre radiación solar diaria y demanda de agua. Para el riego adecuado de una hectárea de cultivo de maíz en el sitio de Kajevuba, durante el mes de julio, el requerimiento diario de agua ha sido de 52.6 m³, correspondiente a un caudal de 117 LPM. La altura dinámica total en esta investigación se estimó en 20 m. A partir de la demanda de agua y TDH, se calcularon la energía hidráulica requerida, la potencia requerida del sistema de bomba y la potencia fotovoltaica en kWp y los valores respectivos encontrados son 2.87 kWh/día, 1.27 kW y 1.637 kWp. Utilizando una herramienta de dimensionamiento de GRUNDFOS, se seleccionó la bomba SQF-5A-7 y se propusieron los módulos solares correspondientes. Se conectarán seis módulos en serie para suministrar una potencia eléctrica de 1.62 kW.

Gamal et al. (2022) en su investigación “Análisis teórico de diferentes sistemas de riego por bombeo solar de agua para cultivos estacionales en tres ubicaciones geográficas de Egipto. El sistema de bombeo de agua fotovoltaico es uno de los mejores métodos alternativos de riego. Se presenta un procedimiento para estimar el tamaño apropiado de un sistema fotovoltaico diseñado para alimentar un sistema de bombeo para cuatro métodos de riego (superficial, por aspersión, por goteo y superficial desarrollado) bajo diferentes condiciones climáticas para el verano de tres cultivos (algodón, maíz, y soja) y para el invierno de tres cultivos (trigo, frijol y cebada). El modelo de simulación solar estimó la potencia hidráulica, la potencia máxima fotovoltaica (PV), el área requerida de PV, los costos totales del sistema y la demanda específica

de agua según el tipo de cultivo bajo diferentes métodos de riego en tres ubicaciones geográficas diferentes en Egipto con una altura dinámica total diferente de 50, 100 y 200 m. Como comparación entre la demanda de agua requerida en varios sistemas de riego. Los resultados simulados pueden dar para cualquier altura, la potencia eléctrica de la bomba correspondiente a la altura dinámica total deseada, la potencia máxima fotovoltaica requerida y sus requisitos de área relacionados y el costo total correspondiente de los componentes del sistema.

Diarra et al. (2021) en su investigación “Estudio y dimensionamiento de un sistema de riego por goteo mediante bombeo fotovoltaico en el distrito de Bellel, prefectura de Mamou”. El objetivo de este estudio es diseñar un sistema de riego por goteo mediante bombeo fotovoltaico de una parcela distribuida en el sector de la llanura de cultivos de hortalizas (tomate, maíz, patata y berenjena). Los diversos resultados obtenidos durante este estudio se refieren principalmente a la determinación de los parámetros meteorológicos (temperatura, irradiación solar, precipitación y humedad relativa) del sitio, las necesidades diarias de agua (150 m^3) para el riego de 7 hectáreas, de las cuales 50 m^3 para cada parcela de cultivo (2.333 hectáreas) dividida en 4 sectores, las dimensiones geométricas del sistema de riego por goteo (67 barras por cada sector para un total de 268 barras, 63 goteros por barra, es decir 31 pares de goteros por barra), las dimensiones del sistema de bombeo (HMT es 10.45 m, el caudal diario de cada bomba 58.517 m^3 o $14.203 \text{ m}^3/\text{h}$, la energía consumida por cada motobomba 4443.586 Wh/d, la potencia del inversor 4677.459 Wh/d. Las características del campo fotovoltaico (tipo de panel solar Cip-80-315 de potencia pico unitaria 315 Wp, potencia total del campo 4728.24 Wp, voltaje por rama 199 voltios y corriente total en la conexión en paralelo 23.76 A). El campo fotovoltaico está formado por 5 módulos en serie y 3 en paralelo, para un total de 15 módulos. Se ha completado el diagrama de instalación de todo el sistema. De este estudio de viabilidad se desprende que los resultados obtenidos servirán de base para el diseño y la implantación de un sistema de riego por goteo mediante bombeo fotovoltaico para cultivos de huerta en toda la llanura de Bellel en particular y en Guinea en general.

2.1.2. Nacionales

Guzmán (2020) en su tesis “Diseño de sistema fotovoltaico para abastecer energía eléctrica al sistema de bombeo del Fundo San José Sector Montegrando Reque – Chiclayo” cuyo objetivo fue diseñar de sistema fotovoltaica para abastecer energía eléctrica al sistema de bombeo del fundo san José sector Monte grande – Reque- Chiclayo, esta tesis se plantea como una investigación no experimental del tipo aplicada, se utilizaron las técnicas de observación y entrevista para recoger los datos mediante una ficha de control de radiación y un test para la

entrevista. Además concluyo que se requiere un caudal de 9600 l/h por hectárea siendo un total de 19200 l/h para las dos hectáreas del fundo, con las mediciones de 9 días se tiene un valor de radiación promedio de 6.25 kWh/m² crítico que es con el que se dimensionó el sistema fotovoltaico que cuenta con un campo solar de 8 paneles conectados en series de dos y el paralelos para abastecer 4 baterías, el control e inversión se logran con un dispositivo para cada uno, la evaluación económica da un VAN de S/. 39 689.99 y una TIR de 40.3%.

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”. El objetivo es diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola (cultivo de maíz). El nivel de investigación descriptivo y un diseño de investigación de campo y gabinete. Usando datos obtenidos de la NASA, determinaron la radiación solar en el área de estudio, así como la capacidad del sistema de bombeo, que primero determinó la demanda de agua y la cabecera de presión total. Luego dimensionaron cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico. Por otro lado, modelaron el sistema fotovoltaico de bombeo de agua utilizando la herramienta de simulación SISIFO, que permite la selección de componentes y la simulación de parámetros de producción de energía, y luego comparar con cálculos teóricos. Finalmente, la evaluación financiera del sistema de bombeo de agua fotovoltaico es rentable con un VAN de S/. 7933.12 positivo, TIR 12%, período de recuperación 15 años; el LCOE calculado es de 0.67 S/./kWh, para una tasa del VAN de 10%, vida útil 20, costos de reinversión de inversor y bomba (año 10) por S/.11500.00.

2.1.3. Regionales y locales

Dávila (2022) en su tesis “Dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas. El propósito del estudio fue dimensionar un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el caserío San Lorenzo. El nivel de investigación descriptiva, y con un diseño no experimental. De acuerdo al requerimiento de agua para una hectárea de siembra de maíz y la altura de succión y descarga del sistema, se seleccionó y diseñó el sistema de bombeo solar. Este estudio explica la visión general de los sistemas de energía solar fotovoltaica desde la evaluación hasta el diseño de las necesidades del recurso solar, agua y energía. Determinó una radiación de 3.77 kWh/m²/día para un ángulo óptimo calculado de 7.69°. Además seleccionó el tamaño de los paneles solares, la bomba de superficie, el inversor y conductores para el suministro de energía a la bomba. También se calculó el precio de la energía eléctrica, resultando un LCOE de 0.517 S/./kWh con una tasa de descuento del 10%. La evaluación financiera del sistema de bombeo

de agua solar se evaluó a 25 años, y el porcentaje de interés para el VAN es del 10%, resulta no es rentable. Asimismo, tomó un interés del VAN en 9% dando una utilidad y el VAN de S/. 5043.61 positivo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Demanda hídrica para riego

La demanda hídrica de riego es una demanda derivada del valor de los productos agrícolas producidos. Analizan en detalle los principios económicos que subyacen a la demanda de agua para riego. El riego de cultivos, como uso del agua por parte de los productores, requiere un marco conceptual basado en la teoría de la producción. La relación básica es la función de producción que expresa la producción esperada de los cultivos asociados con un paquete de insumos conocidos (Scheierling et al., 2006).

$$Y = f (X_M , X_H , X_K , X_L , W) \quad (1)$$

Donde Y se refiere a la cantidad de productos agrícolas, X a la cantidad de un conjunto de insumos distintos del agua y W al agua de riego. Los subíndices se refieren a clases de insumos: M , materiales, energía y equipos; H , esfuerzo humano (por ejemplo, mano de obra y gestión); K , capital; L , tierra de secano.

Se puede considerar que la función de producción se aplica a una sola finca o a un grupo de fincas similares en un área geográfica más amplia, como una región. Además, se supone que los precios de los productos e insumos distintos del agua son conocidos y no se ven afectados por la cuestión de política que se estudia.

Modelo de demanda hídrica de riego

El requerimiento de agua de riego por unidad de área de cultivo se estima con el método del coeficiente de cultivo, que se usa ampliamente para diseñar y operar esquemas de riego y se ha aplicado previamente en macroescala hidrológica, y modelos de superficie terrestre. La evapotranspiración diaria del cultivo, E_c (mm/día), se puede estimar con la Ecuación (2).

$$E_c = K_c ET_o \quad (2)$$

Donde K_c es un coeficiente adimensional del cultivo que representa parámetros fisiológicos del cultivo que varían con el tiempo, y ET_o (mm/día) es la evapotranspiración de referencia.

La disponibilidad de agua juega un papel importante en la agricultura. La población mundial está creciendo a un ritmo rápido, lo que genera una creciente demanda de agua para uso doméstico y para riego. Por lo tanto, en las últimas décadas los sistemas de suministro de agua de riego se encuentran bajo una enorme presión para satisfacer las necesidades de agua de riego (Khan et al., 2011).

2.2.2. Bombeo de agua para riego

Cuando se realiza proyectos que involucran el uso, traslado y distribución del recurso hídrico, se debe de estudiar y ver la disponibilidad de fuentes de energía, pues quizás no se cuente con redes eléctricas que permitan el uso de la energía eléctrica; esto ocurre normalmente en zonas rurales de difícil acceso, pues es ahí donde aún no han llegado proyectos de electrificación (Jiménez, 2019).

Características del bombeo de agua

Un buen índice del tamaño del sistema exigido es el ciclo hidráulico, el cual viene representado por el producto del volumen diario, expresado en (m^3), por la carga dinámica total (CDT), expresada en metros (m). Con estas unidades, el ciclo hidráulico se expresa en unidades de m^4 (Torres, 2014).

Perú cuenta con un excelente recurso solar en la mayoría de sus departamentos, tal como se puede observar en el atlas solar que se encuentra en la web o en las revistas de SENAMHI. En la mayoría de departamentos del Perú se puede observar que el potencial solar es considerable, tanto en la ciudad como en el campo, cabe resaltar que se puede relacionar que en lugares donde los niveles solares son elevados existe la escasez del recurso hídrico (Bolaños et al., 2018).

Hoy en día existen representaciones gráficas, mapas y tablas solares que muestran e indican la irradiación mensual promedio para diferentes zonas geográficas del País. La irradiación es la energía proveniente del sol, expresada en kWh/m^2 /día (Torres, 2014). También existen otras fuentes a consultar sobre radiación solar como es el aplicativo de la NASA.

2.2.3. Bombas para sistemas fotovoltaicos

Para el bombeo solar fotovoltaico se utilizan diferentes tipos de bombas una de las clasificaciones más convenientes es por la potencia del sistema para sistemas de baja potencia que comprenden campos fotovoltaicos de 50 a 400 Wp se utilizan bombas de motor CD que son de desplazamiento positivo de membrana, para sistemas de potencia media entre los 400 y

1500 Wp se utilizan bombas sumergibles, en CD con desplazamiento positivo helicoidal y CA con un inversor con variador de frecuencia que permita su accionamiento, y por último los sistemas de mayor potencia que los anteriores donde todas las bombas requieren convertidores de frecuencia para poder operar (Alonso, Chenlo, & Blanco, s.f.).

La bomba centrífuga es útil para subir el agua del nivel más bajo al nivel más alto de cabecera mediante la utilización de energía divergente se conoce como bomba difusiva. Los segmentos principales de la bomba de salida son el impulsor, el empaque, la tubería de tracción con válvula de pie, la tubería de transporte y el reproductor central (Rose et al., 2021).

2.2.4. El efecto fotovoltaico

Es un efecto en el cual para que la luz genere el efecto fotovoltaico en un dispositivo optoelectrónica se debe realizar un proceso de absorción de luz por parte del material. Gracias a este proceso, la energía de la luz es transferida a los electrones de los átomos del material con el cual está fabricado el dispositivo (Berrú y Utreras, 2009).

Al obtener energía, los electrones rompen los enlaces que los mantenían ligados a sus átomos y salen expedidos en forma de electrones libres, por cada electrón que se libera aparece un hueco, se comportan como partículas con carga positiva; lo anterior resulta en la aparición de portadores de carga positiva y negativa foto-generados (Agredano, 2017).

2.2.5. Generador fotovoltaico

Un generador fotovoltaico es un sistema de tecnologías que se utilizan para generar energía eléctrica a base de la radiación solar que implica la conversión de energía lumínica (fotones) en electrones dentro de un componente conocido como panel fotovoltaico (Sales et al., 2011).

Existen dos formas conocidas en que el ser humano puede aprovechar la energía solar: una es por medio de procesos foto térmica para el calentamiento de fluidos; mientras que la otra, la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico o también llamado efecto fotoeléctrico. Los elementos donde se lleva a cabo la conversión de luz solar en electricidad se denominan generadores fotovoltaicos y a la unidad mínima en la que se realiza dicho efecto se le conoce como celda solar (Berrú y Utreras, 2009).

2.2.6. Parámetros eléctricos del generador fotovoltaico

Cuando las celdas del generador se exponen a la luz, en las terminales eléctricas del generador aparece un voltaje, el cual se conoce como voltaje de circuito abierto V_{OC} ; si las terminales se cortocircuitan, circulará una corriente eléctrica, denominada corriente de corto circuito I_{sc} .

Cualquier elemento resistivo R_L que se conecte al generador definirá un voltaje y una corriente de operación; luego entonces, al variar la resistencia R_L se puede generar la curva característica I-V del generador FV. Si además se realiza el producto de los valores de I-V, se obtiene la curva de potencia del generador (Berrú y Utreras, 2009).

2.3. Definición de términos básicos

Demanda hídrica para riego

La demanda hídrica de riego es una demanda derivada del valor de los productos agrícolas producidos. Analizan en detalle los principios económicos que subyacen a la demanda de agua para riego. El riego de cultivos, como uso del agua por parte de los productores, requiere un marco conceptual basado en la teoría de la producción (Scheierling et al., 2006).

Diseño de un sistema de bombeo solar

Los sistemas de bombeo de agua fotovoltaico, se puede clasificar según la fuente de energía que impulsa el sistema. La tecnología solar fotovoltaica aplicada al sistema de bombeo fotovoltaico se basa en convertir la energía solar en energía eléctrica a través de paneles solares para alimentar la bomba de agua (Chilundo et al., 2018).

Energía solar

Es la cantidad de radiación solar que incide realmente en una superficie específica, como un módulo solar fotovoltaico, y se mide en vatios por metro cuadrado (kW/m^2). La irradiancia solar se puede medir de dos formas: por Horas Sol Pico (PSH) diarias o kilovatios-hora por metro cuadrado por día ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$) (International Energy Agency-IEA, 2014).

Bomba centrífuga

La bomba centrífuga es útil para subir el agua del nivel más bajo al nivel más alto de cabecera mediante la utilización de energía divergente se conoce como bomba difusiva. Los segmentos principales de la bomba de salida son el impulsor, el empaque, la tubería de tracción con válvula de pie, la tubería de transporte y el reproductor central (Rose et al., 2021).

Energía hidráulica

Es un tipo de energía que aprovecha el movimiento del agua. La energía hidráulica a la salida de un sistema de bombeo en un determinado periodo de tiempo, se expresada en kWh. Está en función al agua bombeada diaria media ($\text{m}^3/\text{día}$) y la altura total (m) (Glasnovic y Margeta, 2007).

Potencia de generación fotovoltaica

El generador fotovoltaico de una bomba solar consta de módulos fotovoltaicos conectados en combinación serie y paralelo según el requerimiento de voltaje del motor (Chandel et al., 2015).

Evaluación económica

La evaluación económica de un proyecto implica una medida de sus beneficios netos en términos monetarios. Una evaluación económica se realiza, comenzando con el cálculo del capital de trabajo, costos de inversión y costos operativos necesarios para operar el proceso de producción (Wresta et al., 2015).

LCOE

Representa el costo de un sistema de generación de energía durante su vida útil. Es el precio de la electricidad requerida para un proyecto en el que los ingresos serían iguales a los costos, incluido el rendimiento del capital invertido igual a la tasa de descuento (Derbie, 2019).

Indicadores económicos

El desempeño financiero o económico del proyecto se puede prever sobre la base de determinantes económicos (Akbar et al., 2015). Los indicadores son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Periodo de Recuperación (Wresta et al., 2015).

3.3. Determinación de variables

- Variable independiente : Diseño de sistema de bombeo solar.
- Variable dependiente : Demanda hídrica.

3.4. Fuentes de información

Las fuentes de información primaria fueron datos del cultivo de maíz y área del terreno en la parcela Las Pampas. Así mismo se obtuvo datos de radiación solar de la NASA para diferentes ángulos de inclinación. Como información secundaria se consultaron tesis, artículos científicos y fichas técnicas de fabricantes de equipos de sistemas de bombeo solar.

3.5. Métodos

El método utilizado es el método deductivo como lo menciona Arrieta (2018), ya que se partió de una recopilación de datos cuantitativos para desarrollar la investigación además de estructurarlos y generar las conclusiones de este proceso también en resultados cuantitativos que después fueron interpretados por el investigador.

3.6. Técnicas e instrumentos

Observación directa

Es un método de recolección de datos sobre un individuo, fenómeno o situación particular. Se caracteriza porque el investigador se encuentra en el lugar en el que se desarrolla el hecho sin intervenir ni alterar el ambiente, ya que de lo contrario los datos obtenidos no serían válidos (Cajal, 2019).

- Instrumento: Guía de observación de datos topográficos y alturas manométricas.

Análisis de documentos

El análisis documental es una técnica que considera la pertinencia de los posibles documentos que se proponen para evidenciar el cumplimiento del indicador (UNAN, 2020).

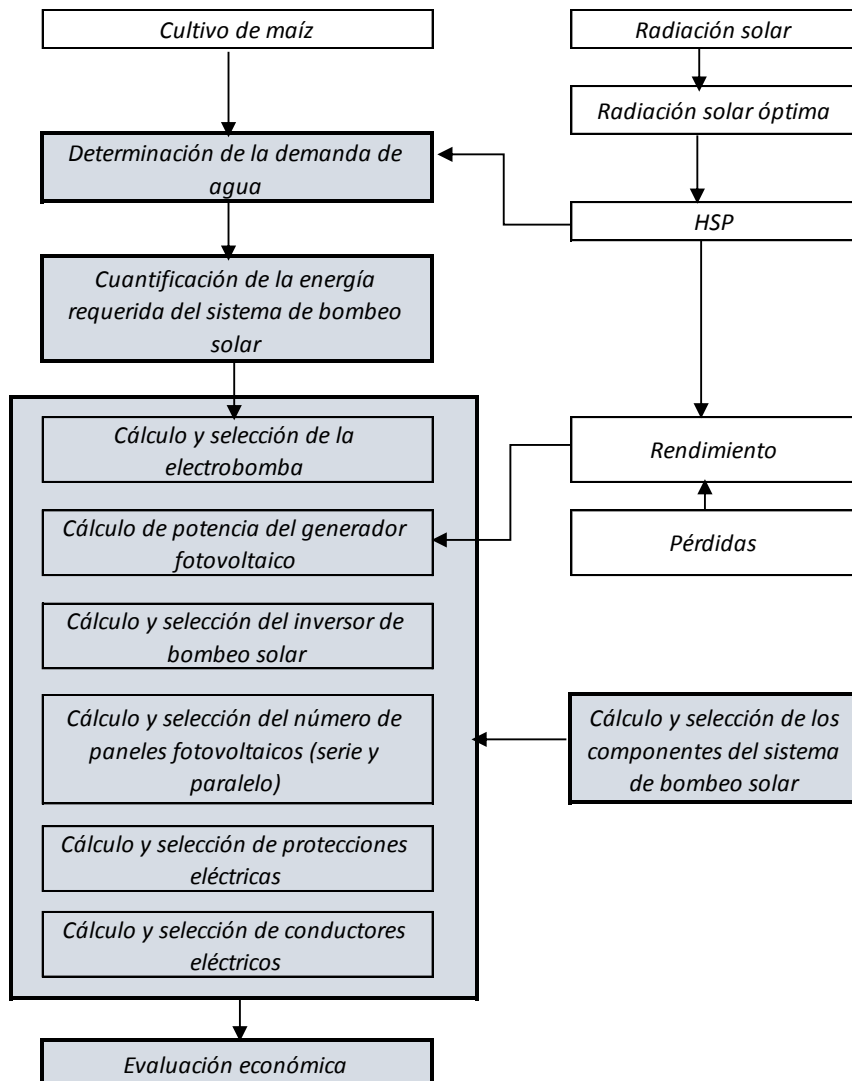
- Instrumento: Ficha de registro de radiación solar.

3.7. Procedimiento

Para desarrollo de esta investigación se tuvo en cuenta los objetivos planteados, y actividades a desarrollar en cada objetivo, en la Figura 2 se muestra un esquema que representa el procedimiento seguido.

Figura 2

Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema de bombeo solar



3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó con estadística descriptiva, donde se analizan los datos recolectados, para posteriormente describir su comportamiento en el contexto de la investigación. Esta descripción se realizó mediante tablas y figuras, medidas numéricas utilizando la herramienta Excel.

3.9. Consideraciones éticas

Dentro de las consideraciones éticas, se tomó en cuenta 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. Además, no infringe los derechos de terceros.

IV. Resultados

4.1. Determinación de la demanda de agua de la parcela Las Pampas

La parcela las pampas pertenece a una familia de agricultores conformado por cinco hermanos entre ellos logran una sociedad en la cual cultivan en total diez hectáreas que son el total de terreno que pertenece a la parcela las Pampas. El cultivo de mejor aceptación en la parcela es el cultivo de maíz.

Este cultivo tiene un ciclo de vida compuesto seis etapas fenológica que se explican en la Tabla 1, cada ciclo tiene una cantidad de días que lo limita y que requiere una determinada cantidad de agua.

Tabla 1

Cantidad de agua según etapa fenológica del maíz

Etapa de cultivo	Ciclo		Requerimiento de agua
	Tiempo (días)	Acumulado (días)	Por etapa (m ³ /ha)
1. Siembra			
Inicio	0	0	240
Cinco hojas	35	35	586
Ocho hojas	15	50	460
2. Crecimiento			
10 hojas	10	60	335
3. Floración			
Inicio de floración	20	80	840
Floración femenina	10	90	506
Polinización cuaje	15	105	1026
4. Llenado del grano			
Formación del grano	20	125	1523
Grano lechoso a grano dentado	10	135	801
5. Madurez			
Madurez fisiológica	15	150	750
7. Cosecha			
Fin	15	165	240

Nota. Adaptado de “Etapas fenológicas del maíz” de Jiménez 2019.

Considerando que el requerimiento de agua se da por etapas y cada etapa tiene una duración en días se determina la cantidad de agua que requiere cada etapa de manera diaria realizando la división de requerimiento por duración del ciclo. En la Tabla 2 se muestra la cantidad de agua por etapa fenológica del maíz por día.

Tabla 2*Cantidad de agua por etapa fenológica del maíz por día*

Etapa de cultivo	Ciclo	Requerimiento de agua	
	Tiempo (días)	Por Etapa (m ³ /ha)	Por día (m ³ /día)
1. Inicio	0		
5 hojas	35	240	6.86
8 hojas	15	580	39.07
2. Crecimiento			
10 hojas	10	460	46.00
3. Floración			
Inicio de floración	20	335	16.75
Floración femenina	10	840	84.00
Polinización cuaje	15	506	33.73
4. Llenado del grano			
Formación del grano	20	1026	51.30
Grano lechoso a grano dentado	10	1523	152.30
5. Madurez			
Madures fisiológica	15	801	53.40
6. Cosecha			
Fin	15	750	50.00

Así como se aprecia en la Tabla 2, se requiere una cantidad de 152.30 m³ de agua por cada hectárea teniendo en cuenta la etapa de “Llenado de grano” en la “Transformación de grano lechoso a grano dentado” se requiere la mayor cantidad de agua por hectárea, tomando en cuenta la cantidad de hectáreas de la parcela Las Pampas se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3*Cantidad de demanda de agua en la etapa de mayor consumo para la parcela Las Pampas*

Parámetros	Cantidad
Volumen por hectárea	152.30 m ³ /ha
Hectáreas	10 Ha
Total	1523 m³/día

En la Tabla 3, se puede apreciar la demanda máxima de agua para las diez hectáreas durante todo el proceso de siembra y cosecha del maíz que llega a 1523 m³/día (1523000 litros/día) para la etapa de mayor demanda de agua, el resto de etapas no requiere una cantidad tan grande de agua.

Según la ubicación del punto de captación de agua (latitud -5.86806, longitud -78.55722), y con las mismas condiciones climatológicas que la parcela. Del aplicativo de la NASA se obtuvo los niveles de radiación solar para diferentes ángulos de inclinación. Tomando en cuenta

la latitud del lugar (ϕ) el ángulo de inclinación óptimo calculado resultó 7.75° , con una radiación más desfavorable de $3.74 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ en el mes de mayo (Tabla 4).

Tabla 4

Radiación para diferentes ángulos de inclinación, y ángulo óptimo calculado

Parámetros	Ángulo (0°)	Ángulo (5.87°)	Ángulo (7.75°)	Ángulo (9.13°)	Ángulo (20.87°)	Ángulo (90°)
Ene	4.38	4.30	4.39	4.45	3.95	1.56
Feb	3.82	3.79	3.81	3.83	3.59	1.50
Mar	4.11	4.10	4.08	4.06	3.97	1.67
Abr	3.95	3.98	3.90	3.84	3.95	1.96
May	3.80	3.88	3.74	3.63	3.96	2.24
Jun	3.91	4.03	3.82	3.67	4.19	2.55
Jul	3.90	4.02	3.82	3.67	4.19	2.50
Ago	4.28	4.37	4.21	4.09	4.44	2.29
Sep	4.82	4.85	4.76	4.70	4.76	1.86
Oct	4.87	4.83	4.85	4.86	4.57	1.55
Nov	4.77	4.67	4.77	4.84	4.30	1.56
Dic	4.66	4.54	4.67	4.76	4.12	1.54

Nota. Adecuado de datos NASA, radiación solar 2021-2022 ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$).

$$\alpha_{\text{optimo}} = 3.7 + 0.69|\phi|$$

Para determinar las Horas Sol Pico (HSP) que son las horas que puede trabajar la bomba para abastecer de agua a la parcela, la bomba debe trabajar en el mes de menor radiación solar, se toma este dato para el dimensionamiento de las HSP, los cálculos se realizan con la Ecuación (3). La irradiancia a la cual trabaja el panel es de manera estándar 1000 W/m^2 , el resultado de cálculo de las HSP se muestra en la Tabla 5.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación}}{\text{Irradiancia}} \quad (3)$$

Tabla 5

Horas sol pico para el sistema de bombeo de la parcela Las Pampas

Parámetro	Cantidad
Irradiación mínima	3.74 kWh/m^2
Irradiancia	1 kW/m^2
Horas Sol Pico (HSP)	3.74 horas

Así considerando el volumen de agua a suministrar máximo en un día y la cantidad de horas que puede trabajar la bomba debido al recurso solar, se calcula el caudal de sistema

mediante la Ecuación (4). Así mismo en la Tabla 6, se muestra el caudal que se requiere suministrar en la parcela Las Pampas para el cultivo de maíz.

$$Q = \frac{V}{HSP} \quad (4)$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/h)
 V : Volumen de agua requerido al día ($m^3/día$)
 HSP : Horas Solar Pico (h)

Tabla 6

Caudal requerido para suministrar agua a la parcela Las Pampas

Parámetro	Cantidad
Volumen de agua requerido al día (V)	1523.00 $m^3/día$
Horas Sol Pico (HSP)	3.74 horas
Caudal (Q)	407.22 (0.11312) m^3/h (m^3/s)

4.2. Cuantificar la energía requerida del sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas

4.2.1 Recorrido de la tubería entre el punto de captación y la parcela Las Pampas

La parcela Las Pampas requieren un suministro de agua constante, actualmente se bombea agua con motores de combustión interna de un canal de regantes de muy bajo volumen de agua, y de precipitaciones pluviales en la zona teniendo problemas en tiempos de sequía o temporadas de bajo caudal de los canales de riego, según la asociación de regantes el punto donde se toma agua para los canales que bastecen la zona es el único lugar, donde se puede tener una toma de agua a utilizar sin afectar los cultivos del resto de agricultores de la zona, ya que en el punto de captación se tiene gran cantidad de agua.

Según el recorrido que se realizó en campo, se consideró la ruta de la tubería considerando el camino de herradura que se utiliza para llegar a la toma de agua desde la parcela Las Pampas y por medio de los softwares Google Earth y Global Mapper las curvas de nivel según la ruta establecida se muestran en la Figura 3, y Figura 4.

Figura 3

Recorrido de tubería toma de agua o captación hacia parcela Las Pampas

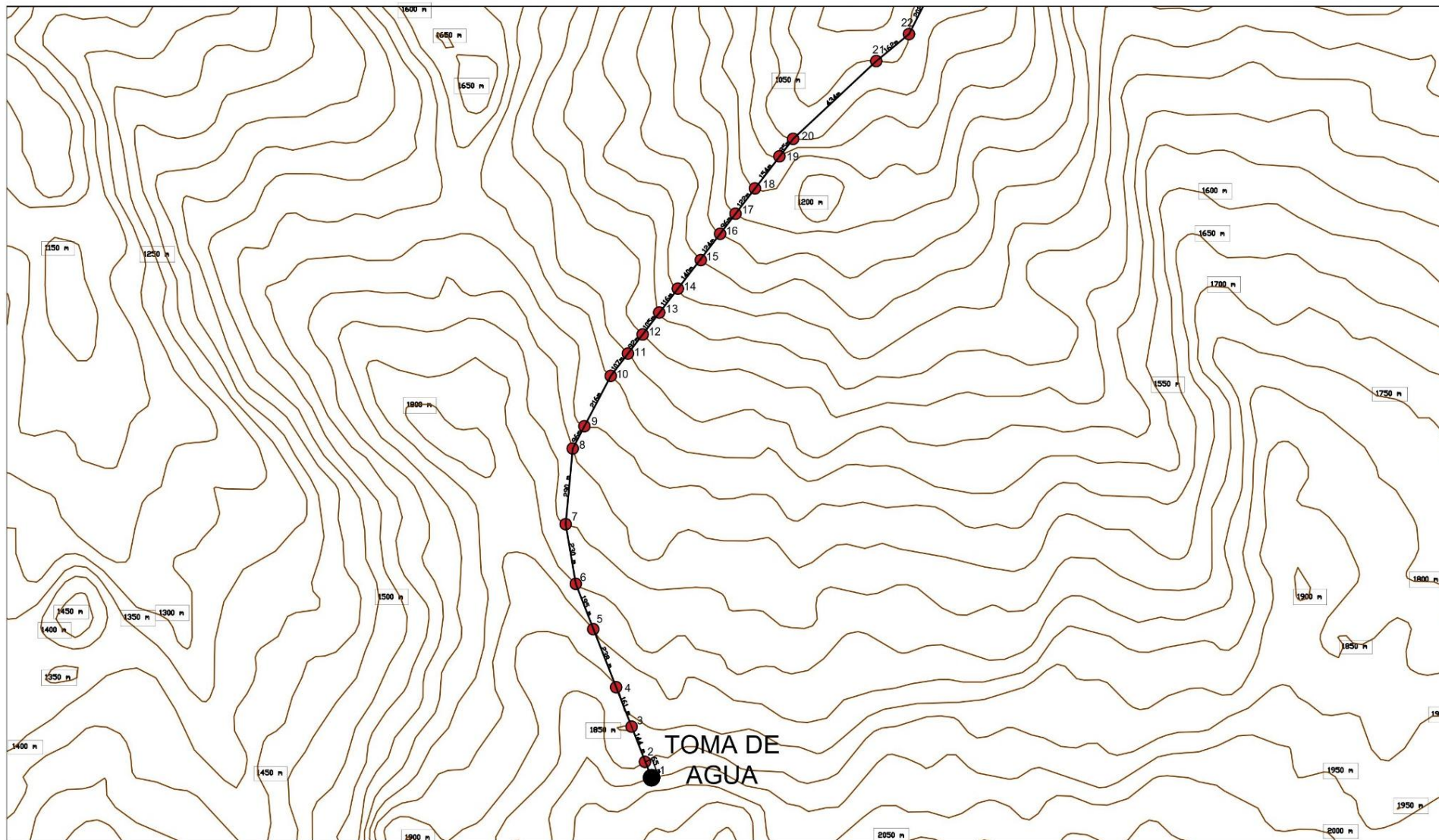
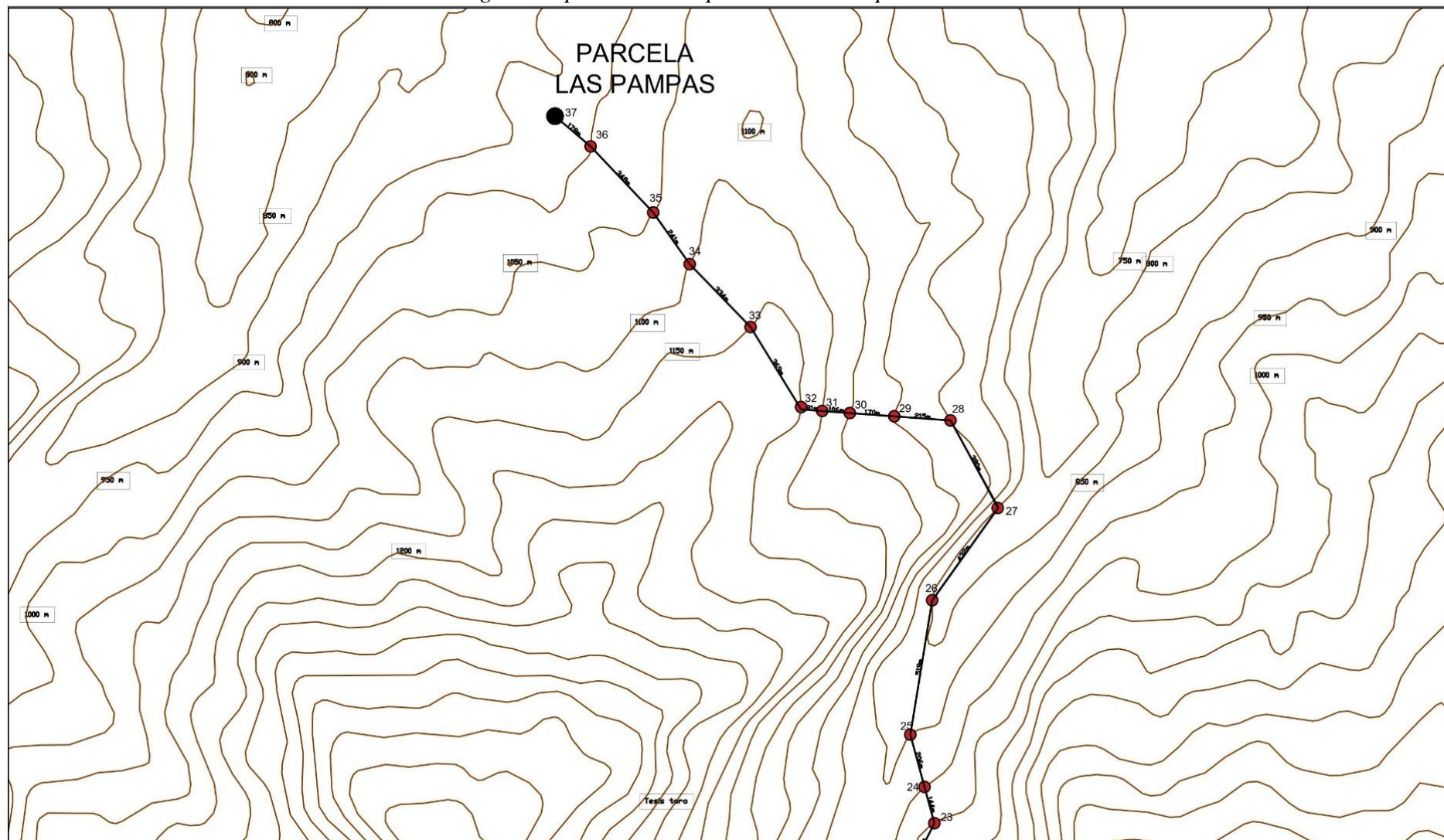


Figura 4

Continuación de recorrido de tubería toma de agua o captación hacia parcela Las Pampas



Para poder determinar la longitud de la ruta y la elevación según las curvas de nivel considerando cada tramo, se muestra en la Tabla 7.

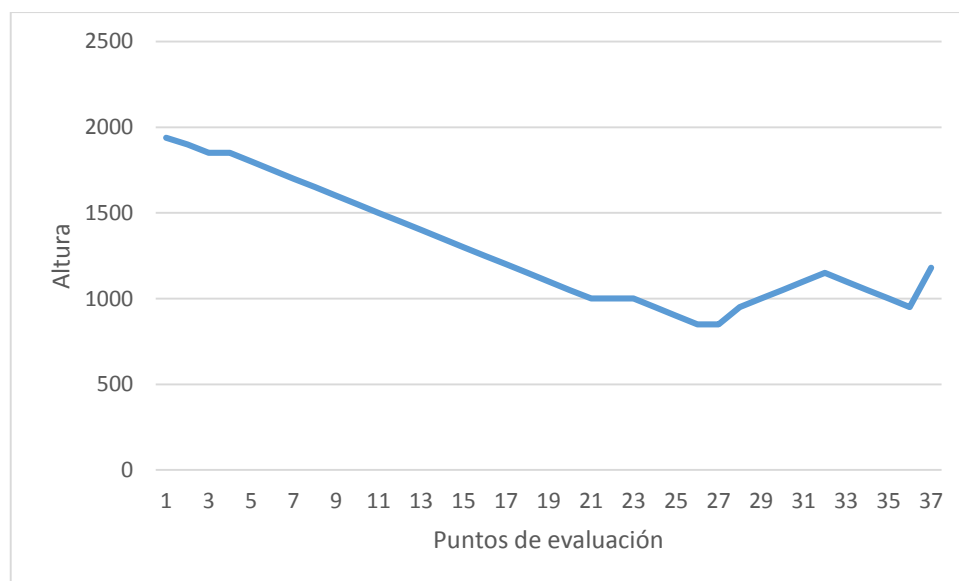
Tabla 7

Alturas de los puntos tomados por curva de nivel en el recorrido de la tubería

Punto	Altura	Tramo	Punto	Altura	Tramo
1	1939	0	19	1100	154
2	1900	65	20	1050	85
3	1850	144	21	1000	484
4	1850	161	22	1000	162
5	1800	238	23	1000	202
6	1750	195	24	950	144
7	1700	230	25	900	206
8	1650	290	26	850	519
9	1600	96	27	850	432
10	1550	216	28	950	380
11	1500	107	29	1000	215
12	1450	92	30	1050	170
13	1400	105	31	1100	106
14	1350	116	32	1150	81
15	1300	140	33	1100	369
16	1250	124	34	1050	334
17	1200	69	35	1000	241
18	1150	122	36	950	348
19	1100	154	37	1180	178

Figura 5

Alturas según recorrido de la tubería

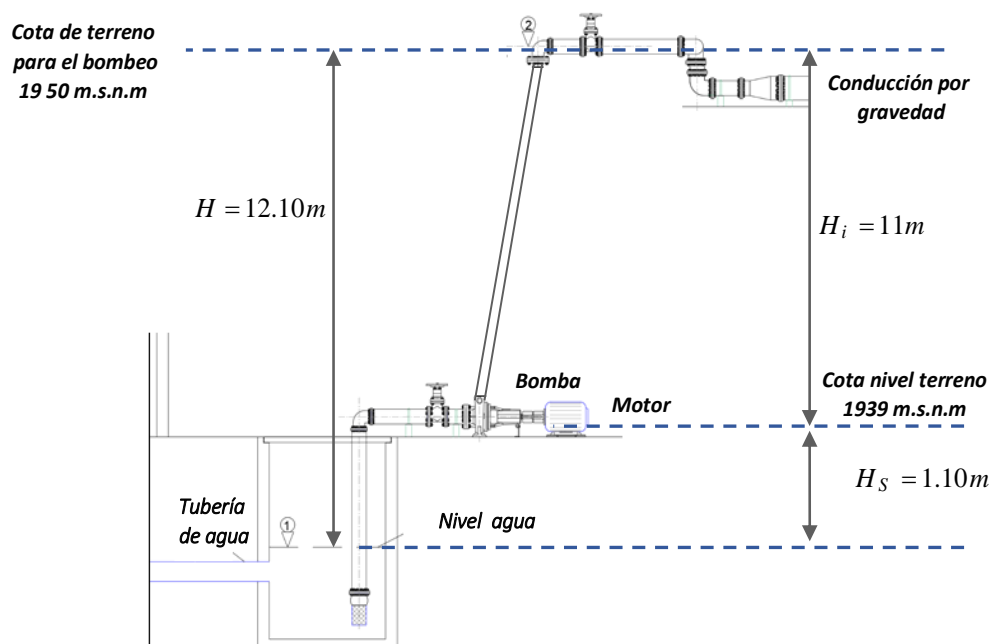


Se determinaron un total de 37 puntos entre las ubicaciones de toma de agua o captación y parcela Las Pampas. Siendo el objetivo de esta toma de datos determinar cuál es la parte más elevada del recorrido para así establecer cuál es la altura geodésica máxima para el cálculo del sistema de bombeo se puede apreciar en la Figura 5, se muestra la diferencia entre las alturas encontradas.

Por otra parte de acuerdo a Figura 5, en el punto 1, se establecerá el sistema de bombeo donde existe la mayor altura del recorrido por lo que no se tendrá una altura geodésica superior a la que otorgará la propia instalación de la bomba. Este tipo de bombeo se establece como un bombeo mixto impulsado por la bomba solamente para salir del punto de captación y a partir de ahí, la conducción con tuberías y por gravedad (Figura 6).

Figura 6

Alturas manométricas del sistema de bombeo solar propuesto



Nota. H_i altura de impulsión, H_s altura de succión, H altura geométrica total.

4.2.2 Cálculos de diámetros y pérdidas de las líneas primarias

Según Moreno (2017), para el cálculo del diámetro de las líneas primarias o terciarias, se utiliza la Ecuación (5). Así mismo se adopta por criterios de normas que la velocidad está dentro del intervalo de (0.5 m/s – 2 m/s). Además, para conocer la pérdida de carga en las tuberías se aplica la ecuación de Hazen- William, la cual se establece en la Ecuación (6). Los resultados de cálculos de diámetros y pérdidas para el riego se muestran en la Tabla 8.

$$D = \sqrt{\frac{1237Q}{V}} \quad (5)$$

$$h_l = 1.131 \times 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \times L \times D^{-4.872} \times F \quad (6)$$

Donde:

h_l : Pérdidas en las líneas principales o terciarias (m)

Q : Caudal (m³/h)

L : Longitud de la tubería (m)

C : Coeficiente de material

F : Coeficiente de salidas múltiples

Tabla 8

Resultados de cálculo de pérdidas totales

Descripción	Valor
Red primaria (1 -Bomba -2)	
Desnivel (1-2)	12.10 m
Caudal (Q)	407.22 m³/h
	113.12 litros/s
Diámetro (D)	264.50 mm
Velocidad [0.5 m/s – 2 m/s]	2 m/s
Longitud tubería (L)	15 m
- Coeficiente del material (C) de Hazen-Williams para diferentes materiales- Plástico (PE, PVC): 140-150 (Tablas)	150
- Coeficiente de salidas múltiples (F) de Christiansen (Tablas)	1
Pérdidas (h_l)	0.17 m
Perdidas por carga localizada (10% altura manométrica)	1.21 m
Total de pérdidas de carga (1 -Bomba -2) h_{l, total}	1.38 m

Mediante la Ecuación (7), que es la ecuación de Bernoulli se determinara la energía requerida por la bomba para succionar el fluido y subirlo por encima de su salida de impulsión.

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_1 - Z_2 + h_{l, total} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

Donde p_1 y p_2 son las presiones a las que se tomará y expulsará el fluido debido a que se toma de un tanque abierto y se expulsa a la parcela también abierta al ambiente, la presión será la atmosfera por lo que el primer parámetro por altura de presión se vuelve 0.

Las diferencias entre alturas Z_1 y Z_2 se tomaron desde el punto 1 y 2 de la Figura 6, teniendo el punto 1 como referencia la diferencia entre alturas será la distancia desde el nivel más bajo del agua, hasta el eje de la tubería de impulsión por encima de la bomba.

Se calculan las pérdidas en la tubería h_l tanto las primarias como las secundarias considerando que el tubo de succión y de impulsión son del mismo diámetro y es el mismo caudal se tendrá un solo cálculo para las pérdidas primarias en tuberías, además se un 10 % de la altura manométrica por pérdidas en accesorio en succión e impulsión (pérdidas localizadas).

Por último la velocidad es un dato establecido por el diámetro de la tubería y su caudal, y la gravedad es un dato tomado de manera constante. Los resultados de la altura energética que debe suministrar la bomba se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Cálculo de altura energética para suministrar por la bomba

Parámetro	Valor
p_1	0 Pa
p_2	0 Pa
Z_1	0 m
Z_2	12.10 m
$H_{l,total}$	1.38 m
V_t	2 m/s
g	9.81 m/s ²
H	13.68 m

Además, para la selección se determina la altura neta positiva de aspiración (NSPH), en primera instancia se corrige la presión atmosférica por altura según Salas (2010) mediante la Ecuación (8).

$$p_{ATM} = 10.33 - \frac{\text{altitud (m)}}{900} \quad (8)$$

Teniendo que la electrobomba se colocara en el punto de acopio y que está a 1939 msnm se tiene como resultado lo mostrado en la Tabla 10.

Tabla 10*Cálculo de la presión atmosférica según altura de ubicación de la bomba*

Parámetro	Valor
Altitud	1939 msnm
p_{atm}	8.18 (0.82) mca(bar)

Considerando una temperatura promedio en la zona de 20°C. Según Monge (2019), la presión de vapor por líquido de 0.024 bar y una densidad de 998.2 kg/m³. El NSPH se calcula con la Ecuación (9). El resultado de cálculo de la altura positiva de aspiración se presenta en la Tabla 11.

$$NSPH_{asp.} = \left(\frac{10^5(p_l - p_v)}{\rho g} - H_a - h_a \right) - 0.5 \quad (9)$$

Donde:

- $NSPH_{asp.}$: Altura neta positiva de aspiración
 p_l : Presión sobre el líquido en el depósito de aspiración
 p_v : Presión de vapor del líquido
 ρ : Densidad
 g : Gravedad
 H_a : Altura de aspiración
 h_a : Pérdida de carga en el tramo de aspiración

Tabla 11*Cálculo de la altura positiva de aspiración*

Parámetro	Valor
p_l	0.82 bar
p_v	0.024 bar
ρ	998.2 kg/m ³
g	9.81 m/s ²
H_a	1.10 m
h_a	0.11 m
$NSPH_{asp}$	6.42 m

Tabla 12*Parámetros requeridos que debe cumplir la bomba a seleccionada*

Parámetro	Valor
Q	407.22 m ³ /h
H	13.68 m
$NSPH_{asp}$	6.42 m

4.2.3 Cálculo de la energía hidráulica

Las alturas manométricas del sistema se muestran en la Figura 6, la altura manométrica total que incluye alturas de succión, impulsión y pérdidas es equivalente a 13.68. El requerimiento de agua para el riego de cultivo de 10 hectáreas de maíz es de 1523 m³/día, y considerando las HSP para el riego (3.74 horas/día) resulta 407.22 m³/h.

Según Pareja (2016), la energía hidráulica se determinó mediante la Ecuación (10). Los resultados de cálculo se muestra en la Tabla 13, y como resultado se obtuvo 56.79 kWh/día.

$$E_h = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{3600} \quad (10)$$

Donde:

E_h : Energía hidráulica (kWh/día)

ρ : Densidad del agua (kg/m³)

g : Gravedad (m/s²)

Q : Gasto de agua (m³/día)

Tabla 13

Resultados de cálculo de la energía hidráulica

Parámetros	Valores
Altura manométrica total	13.68 m
Demanda de agua	1523.00 m ³ /día
Gravedad	9.81 m/s ²
Densidad del agua	1000.00 kg/m ³
Energía hidráulica (Eh)	56.79 kWh/día

Nota. Energía hidráulica para un riego por gravedad.

4.2.4 Cálculo energía eléctrica necesaria

Dentro del diseño 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. 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% (Pareja, 2016). Para el cálculo de la energía requerida para la potencia máxima diaria se considera un rendimiento de 48 %, y se determina con la Ecuación (11). Los cálculos se muestran en la Tabla 14, resultando una energía eléctrica de potencia máxima de 118.31 kWh/día.

$$E_{P_{max-d}} = \frac{E_h}{\eta_{MB}} \quad (11)$$

Donde:

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

E_h : Energía hidráulica diaria (kWh/día).

η_{MB} : Rendimiento medio del sistema motobomba.

Asimismo considerando que el sistema funcione por 3.74 hora aprovechables de sol para el peor mes en radiación, la potencia necesaria del motor (P_M) se determina con la Ecuación (12). Los cálculos se muestran en la Tabla 14, resultando 31.67 kW.

$$P_M = \frac{E_{P_{max-d}}}{HSP} \quad (12)$$

Tabla 14

Resultados de cálculo de energía eléctrica de potencia máxima, y potencia del motor

Parámetros	Valores
Energía hidráulica (E_h)	56.79 kWh/día
η_{MB}	48 %
Energía eléctrica de potencia máxima ($E_{p_{max-d}}$)	118.31 kWh/día
HSP	3.74 horas/día
Potencia del motor eléctrico (P_M)	31.67 kW

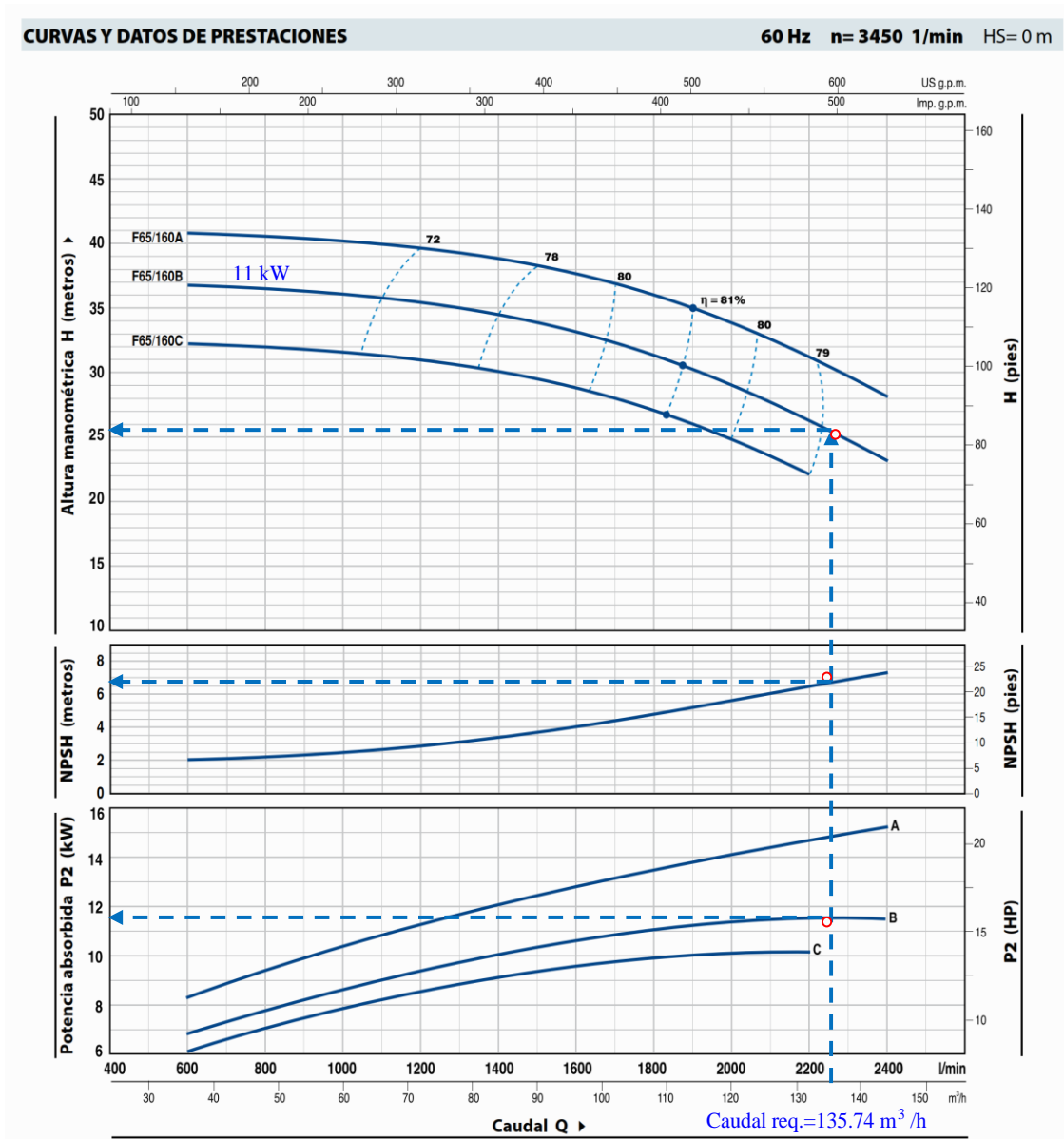
4.3. Cálculo y selección de los componentes del sistema de bombeo solar de la parcela Las Pampas

4.3.1 Selección y justificación de la electrobomba bomba

Luego de una búsqueda de electrobombas disponibles en el mercado y potencias estándar de fabricantes, no se encontró una bomba adecuada para el caudal requerido de 407.2 m³/h. Como un mejor criterio técnico se consideró seleccionar tres electrobombas centrífugas normalizadas "EN 733" de la marca Pedrollo F65/160B hacer conectadas en paralelo, pudiendo dar un caudal máximo de 144 m³/h y una potencia de hasta 11kW cada una, voltaje trifásica 380 V CA.

Figura 7

Curva de funcionamiento electrobomba centrifugas normalizadas "EN 733"

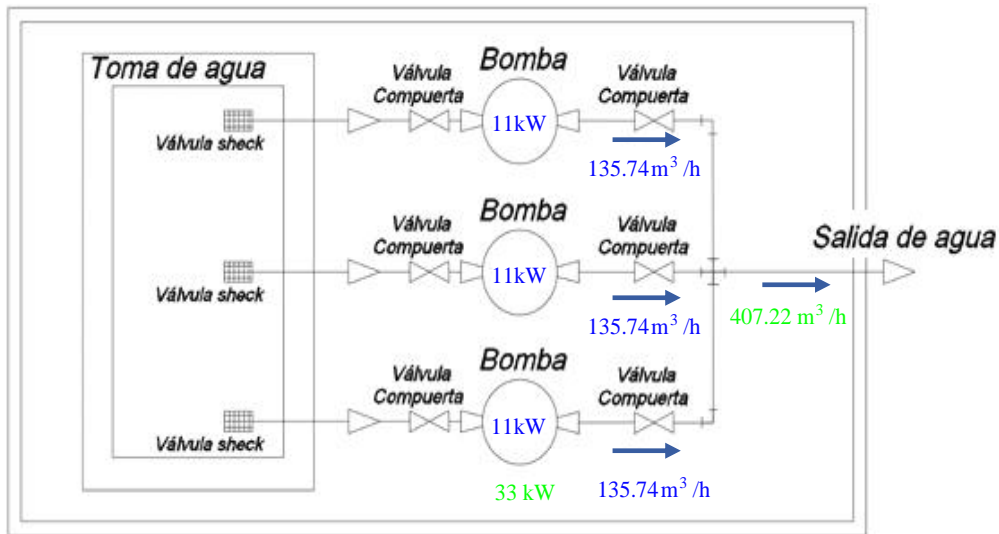


Nota. Curva de funcionamiento para la electrobomba seleccionada. Tomando de Catálogo de fabricante de la marca Pedrollo F 65/160B.

Las electrobombas seleccionadas pueden soportar el caudal requerido y potencia. Por otra parte el NPSH disponible es un poco mayor al NPSH requerido por la bomba del fabricante ($NPSH_{disp} - 0.5 \geq NPSH_{req}$).

Figura 8

Esquema de conexión de electrobombas para el suministro de agua a la parcela Las Pampas



Nota. Conexión en paralelo de electrobombas de la marca Pedrollo F 65/160B.

4.3.2 Cálculo potencia del generador fotovoltaico

Pareja (2016) la potencia del generador, sin considerar la potencia de cada módulo solar, se determina con la Ecuación (13). Para los cálculos se considera un factor de seguridad 1.10 (sobredimensionado del 10 %), en el mes más desfavorable 3.74 HSP para un ángulo óptimo calculado de 7.75 °.

Por otra parte el 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. Los resultados de cálculo se muestran en la Tabla 15, resultando 55.30 kW de potencia mínima a considerar para el generador solar.

$$P_G = fs \times \frac{E_{P_{\max-d}}}{0.9 \times HSP \times K_T} \quad (13)$$

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

Tabla 15*Resultados de cálculo de la potencia del generador fotovoltaico*

Parámetros	Valores
Energía eléctrica de potencia máxima (E_{pmax-d})	118.31 (kWh/día)
Factor de seguridad (fs)	1.10
Horas sol pico (HSP)	3.74 horas/día
K_T	0.70
Potencia del generador fotovoltaico (P_G)	55.30 kW

4.3.3 Cálculo y selección del inversor variador de frecuencia

La potencia mínima que debe soportar el inversor variador de frecuencia es la potencia de la carga (electrobomba). Según Mejía (2019), la potencia del inversor variador de frecuencia se determinó con la Ecuación (14). Para el caso del inversor, se consideró un factor de seguridad 1.20 (sobredimensionamiento 20 %) por potencia absorbida en el arranque de la electrobomba, y los resultados de cálculo se muestran en la Tabla 16.

$$P_{INV} = P_{carga} \times fs \quad (14)$$

Donde:

P_{INV} : Potencia del inversor

P_{carga} : Potencia de la carga

fs : Factor de seguridad

Tabla 16*Resultados de cálculo de la potencia del inversor solar para cada electrobomba*

Parámetros	Valores
Potencia de la electrobomba	11.00 kW
Factor de seguridad (fs)	1.20
Potencia del convertidor de frecuencia (P_{INV})	13.20 kW

De acuerdo a cálculos realizados e inversores solares disponibles en el mercado, como referencia se seleccionó un inversor de bombeo solar de la marca Hober Solar Pumping Inverter, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, el cual puede brindar un voltaje de máxima potencia de entrada: 500-750V CD, y de salida: 380V CA trifásico de 3 fases. Para tener un mejor control de las electrobombas, se utilizará un inversor de bombeo solar electrobomba.

4.3.4 Cálculo y selección del sistema generación fotovoltaica

Para el dimensionamiento y configuración de paneles fotovoltaicos sistema de riego por aspersión, se seleccionó como referencia un panel fotovoltaico mono cristalino ATLAS, modelo EGE-545W, cuyos parámetros eléctricos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado

Parámetros eléctricos	Valores
Potencia máxima (P_{max})	545 Wp
Tensión máxima potencia (V_{pm})	40.89 V
Corriente máxima potencia (I_{pm})	13.33 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	49.59 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	13.92 A
Eficiencia	21.28 %

Nota. Adaptado de ficha técnica de fabricantes. Modelo EGE-545W

Según Florián (2022), para determinar el rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor de bombeo solar, se tomó en cuenta datos técnicos del inversor (rango de tensión de operación MPPT que varía de 500- 750 V CD), y de los paneles fotovoltaicos. Los cálculos se realizaron con las Ecuaciones (15) y (16) respectivamente. Los resultados de cálculo se muestran en la Tabla 18.

$$N_{p,serie-max MPPT} \leq \frac{V_{DCmax-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, panel}} \quad (15)$$

$$N_{p,serie,-min MPPT} \geq \frac{V_{DCmin-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, panel}} \quad (16)$$

Tabla 18

Calculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor de bombeo solar

Parámetros	Valores
$N_{p,serie-max MPPT}$	18.34 \approx 18
$N_{p,serie-min MPPT}$	12.23 \approx 13

La potencia de generación fotovoltaica total calculada es de 55.30 kWp, por lo tanto, para cada inversor de bombeo solar corresponde 18.43 kWp.

Mejía (2019) señala que para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos totales, serie y paralelo para la instalación se realiza con las Ecuaciones (17), (18) y (19); además indica que la potencia de generación fotovoltaica se determina con la Ecuación (20). Los resultados de cálculo se presentan en la Tabla 19.

$$N_{p,totales} \geq \frac{P_G}{P_{m\acute{a}x,panel}} \quad (17)$$

$$N_{p,serie} \geq \frac{V_{n,generador}}{V_{n,panel}} \quad (18)$$

$$N_{p,paralelo} \geq \frac{N_{p,totales}}{N_{p,serie}} \quad (19)$$

$$P_{g,FV} = N_{p,serie} \times N_{p,paralelo} \times P_{m\acute{a}x,panel} \quad (20)$$

Tabla 19

Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico

Paneles en serie	Voltaje	Paneles en paralelo	Paneles totales	$P_{G, FV \text{ real}}$	Sobredimensionamiento	
$N_{p,serie}$	V_{mp}	$N_{p,paralelo}$	$N_{p,total}$	kW	kW	%
Inversor de bombeo solar 1						
13	531.57	2.62	3.00	39	21.26	15.32%
14	572.46	2.43	3.00	42	22.89	24.19%
15	613.35	2.27	3.00	45	24.53	33.06%
16	654.24	2.13	3.00	48	26.16	41.93%
17	695.13	2.00	2.00	34	18.53	0.53%
18	736.02	1.89	2.00	36	19.62	6.45%
Inversor de bombeo solar 2						
13	531.57	2.62	3.00	39	21.26	15.32%
14	572.46	2.43	3.00	42	22.89	24.19%
15	613.35	2.27	3.00	45	24.53	33.06%
16	654.24	2.13	3.00	48	26.16	41.93%
17	695.13	2.00	2.00	34	18.53	0.53%
18	736.02	1.89	2.00	36	19.62	6.45%
Inversor de bombeo solar 3						
13	531.57	2.62	3.00	39	21.26	15.32%
14	572.46	2.43	3.00	42	22.89	24.19%
15	613.35	2.27	3.00	45	24.53	33.06%
16	654.24	2.13	3.00	48	26.16	41.93%
17	695.13	2.00	2.00	34	18.53	0.53%
18	736.02	1.89	2.00	36	19.62	6.45%
Total				102	55.59	1.60%

Tomando en cuenta la tensión de máxima potencia del inversor de bombeo solar, y parámetros del panel fotovoltaico, el mejor arreglo fotovoltaico por cada inversor resultó 17 paneles serie y dos en paralelo, con una potencia de generación fotovoltaica de 18.53 kWp, mayor a la potencia de generación mínima 18.43 kWp, con un sobredimensionado de 0.10 kWp (0.53 %) en la generación para cada inversor.

Por otra parte, la potencia total de generación es de 55.59 kWp, mayor a la potencia de generación mínima calculada 55.30 kWp, con un sobredimensionamiento total de 0.30 kWp (1.60%). En la Tabla 19, se muestran a detalle los resultados de cálculo.

4.3.5 Cálculo y selección de protecciones eléctricas en el sistema de bombeo solar

a) Sistemas de puesta a tierra

Los sistemas fotovoltaicos con tensiones nominales mayores a 48 voltios deben tener al menos una conexión a tierra (Pareja, 2016). La puesta a tierra tiene que cumplir con lo indicado en el Código Nacional de Electricidad (CNE) de Perú. Varilla de cobre 16 mm Ø x 2.40 metros, conector de cobre, caja de registro, y cable de cobre 16 mm². Utilizar tierra negra y dosis de bentonita.

a) 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). Para el cálculo de fusibles y termo magnético se realiza con las Ecuaciones (21) y (22), y los resultados se muestran en la Tabla 20.

$$I_{fusable(P-INV)} > I_{sc} \times N_{p,paralelo} \quad (21)$$

$$I_{term.} = \frac{P_{CA-Bomba}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos \phi} \quad (22)$$

De acuerdo a cálculos de fusibles y termomagnéticos, para el tramo en corriente continua de cada unidad, se seleccionó un fusible estandarizado del tipo gl cilíndricos de 16 A; y un termo magnético trifásico de 20 A para el tramo inversor de bombeo solar – electrobomba (Tabla 20).

Tabla 20*Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema bombeo solar*

Componentes	Voltaje (V)	Tipo	Corriente fusible (A)		Corriente termomagnéticos (A)	
			Calculado	Estand.	Calculado	Estand.
▪ Fusible Generador Fotovoltaico 1 - Inversor bombeo solar 1	695.13	CD	13.92	16	...	...
▪ Termomagnéticos Inversor bombeo solar 1 - Electrobomba 1	380	CA	...	...	19.66	20
▪ Fusible Generador Fotovoltaico 2 - Inversor bombeo solar 2	695.13	CD	13.92	16	...	...
▪ Termomagnéticos Inversor bombeo solar 2- Electrobomba 2	380	CA	...	...	19.66	20
▪ Fusible Generador Fotovoltaico 3 - Inversor bombeo solar 3	695.13	CD	13.92	16	...	...
▪ Termomagnéticos Inversor bombeo solar 3 - Electrobomba 3	380	CA	...	...	19.66	20

Nota. Cálculo y selección de fusibles y termomagnéticos estandarizados.

4.3.6 Cálculo y selección de conductores eléctricos

Para determinar la sección de los conductores eléctricos se debe conocer el tipo de material (cobre o aluminio) y su conductividad (γ), la longitud del cable, la corriente que atravesará el cable, y la caída de tensión en los extremos (Pareja, 2016). Los cálculos se realizan con las Ecuaciones (23) y (24), para cálculos se tomó la conductividad del cobre a 75°C igual a $\gamma_{Cu\ 75^\circ C} = 45.45\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$. Los resultados se muestran en la Tabla 21.

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\gamma \times \Delta V} \quad (23)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos \phi}{\gamma \times \Delta V} \quad (24)$$

Donde:

S : Sección del cable (mm²)

L : Longitud del cable (m)

γ : Conductividad del cable (m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$)

ΔV : Caída de tensión (V)

Tabla 21*Resultados de cálculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo solar*

Componentes	Longitud (m)	Máxima caída de tensión admisible	I (A)	Vn	S (mm ²)	AWG	Tipo
▪ Generador Fotovoltaico 1- Inversor bombeo 1 solar	110	3.0%	13.92	695.13	3.23	12	CD
▪ Inversor bombeo solar 1 - Electrobomba 1	50	2.0%	19.66	380	4.19	10	CA
▪ Generador Fotovoltaico 2- Inversor bombeo solar 2	110	3.0%	13.92	695.13	3.23	12	CD
▪ Inversor bombeo solar 2 - Electrobomba 2	50	2.0%	19.66	380	4.19	10	CA
▪ Generador Fotovoltaico 3- Inversor bombeo solar 3	110	3.0%	13.92	695.13	3.23	12	CD
▪ Inversor bombeo solar 3 - Electrobomba 3	50	2.0%	19.66	380	4.19	10	CA

4.3.7 Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos

Para el montaje de los paneles, se ha considerado soporte inclinado abierto de aluminio para cubierta plana de hormigón o subestructura, 2 filas de módulos (8 paneles). Los paneles fotovoltaicos tienen las dimensiones 1134x 2279 x 35 mm, modelo Modelo EGE-545W; de acuerdo a cálculos realizados el número de paneles totales que irán conectados en cada inversor de bombeo solar son 34 paneles (17 en serie x 02 en paralelo). En la Figura 9, se muestra las dimensiones referenciales.

Figura 9

Soporte inclinado abierto de aluminio, soporte premontado y anclaje en hormigón



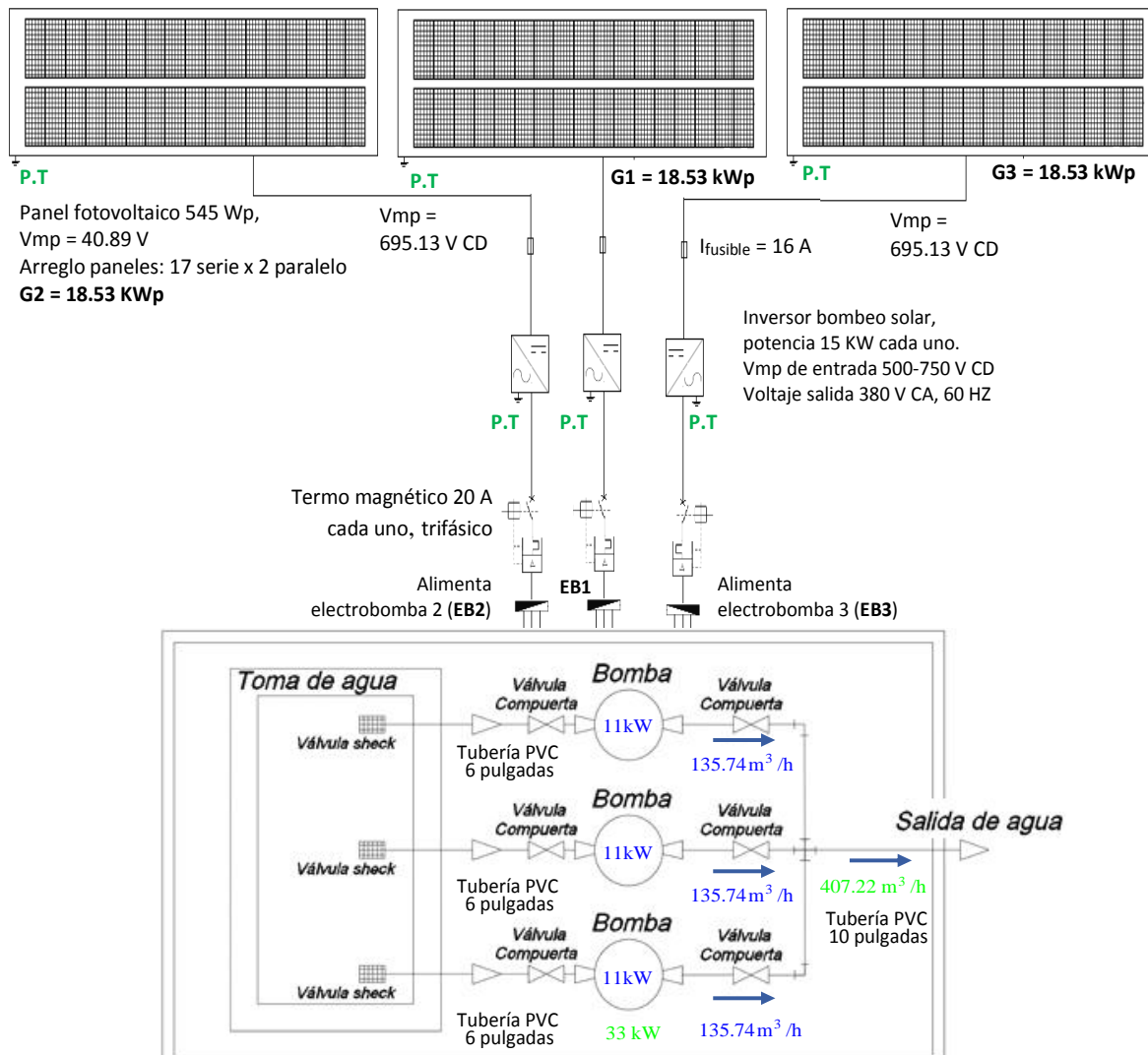
Nota. Estructura 8 paneles fotovoltaicos. Dimensiones referenciales para su montaje.

4.3.8 Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para riego por aspersión

La Figura 10, presenta la topología del sistema de bombeo solar para cultivo maíz en la parcela Las Pampas.

Figura 10

Topología del sistema de bombeo solar



Nota. Sistema de bombeo solar con bombas de superficie conectadas en paralelo.

4.3.9 Arranque inalámbrico del sistema de bombeo solar

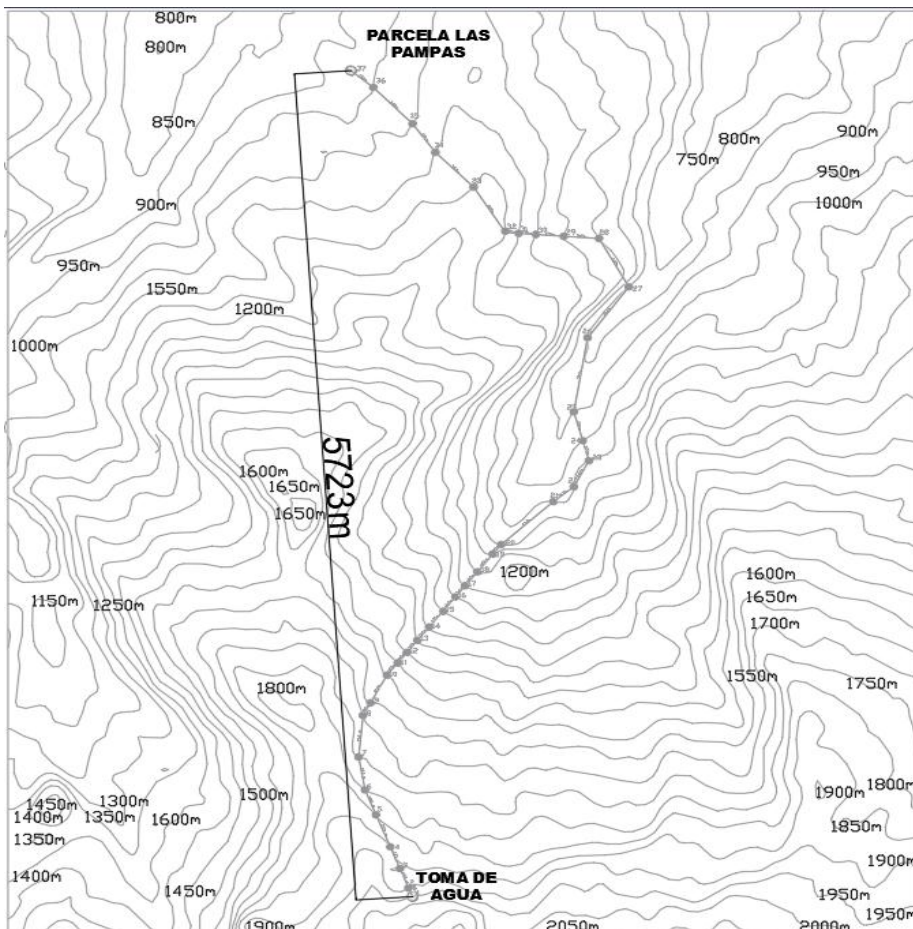
Debido a la distancia entre el punto de toma de agua y la parcela el cableado para el control de arranque del motor de la bomba de agua se vuelve un problema muy complejo si se quiere utilizar cablería, por dos motivos:

- Primero son los factores de pérdidas de energía debido a la gran distancia de recorrido, esto demanda a utilizar cables de gran calibre.
- El segundo motivo, es que al tener un tramo muy largo de recorrido la inspección sería demasiado costosa y en temporada imposible de acceder a ciertas partes del recorrido lo que causaría que la electrobomba no pueda encender.

Por lo tanto, el arranque de la bomba por tecnología inalámbrica es la más ideal de las opciones, para este caso el parámetro a consultar es la distancia ya que el dispositivo debe cubrir una distancia de 5.723 km. En la Figura 11, se muestra la distancia entre la toma de agua y la parcela de cultivo de maíz.

Figura 11

Distancia entre el punto de toma de agua y las parcelas Las Pampas



La tecnología más próxima que se encontró es el control de largo alcance de 8 km de marca MIGRO que es una empresa especializada en controles inalámbricos para riego, opera con 120/240VAC o 12V CD el cual utiliza también un sistema solar para su alimentación. En la Figura 12, se muestra un esquema de funcionamiento.

Figura 12

Comunicación entre módulos de control remoto o inalámbrico sistemas de bombeo

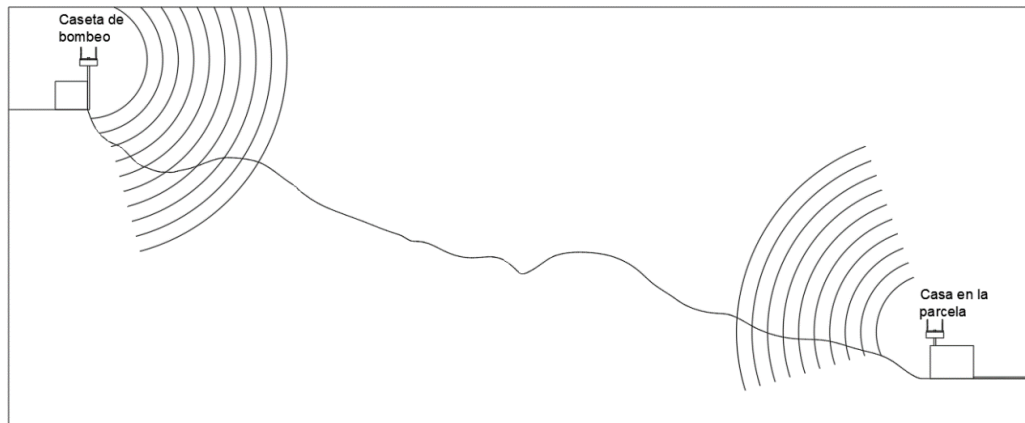
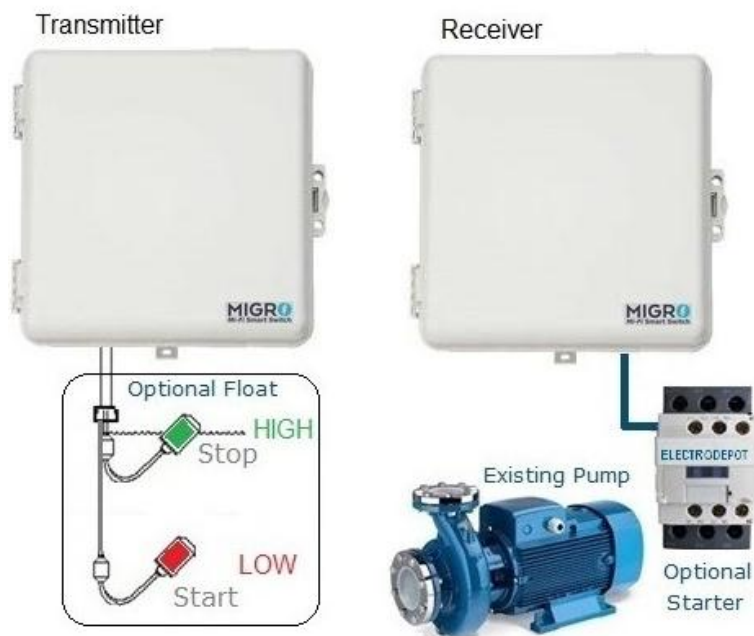


Figura 13

Controles inalámbricos industriales para sistemas de bombeo



Nota. Tomado del fabricante MIGRO.

4.4. Evaluación económica del sistema de bombeo solar para para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas

Para la evaluación económicamente del sistema de bombeo solar para cultivo de maíz, primeramente se determinó la inversión referencial (suministro y montaje electromecánico), costos de mantenimiento, y el Costo Nivelado de Energía (LCOE); luego se calcularon los indicadores económicos. El presupuesto para el sistema de bombeo solar asciende a S/. 880160.58. En la Tabla 22, se muestra el presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico.

Tabla 22

Presupuesto referencial sistema de bombeo solar

Nº	Descripción de componentes	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
I	Suministro de materiales				651759.00
1.1	Sistema fotovoltaico				130259.00
1.1.1	Panel fotovoltaico mono cristalino de 545 Wp, voltaje máxima potencia 40.89 V	Und.	102	840.00	85680.00
1.1.2	Inversor de bombeo solar Hober, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, rango de voltaje de entrada: 500-750V CD, y salida: 380V CA, 60 Hz	Und.	3	6500.00	19500.00
1.1.3	Cable 12 AWG	m	330	5.80	1914.00
1.1.4	Cable 10 AWG	m	150	6.50	975.00
1.1.5	Porta fusibles cilíndrico gl de 16 A	Und.	3	65.00	195.00
1.1.6	Termomagnéticos trifásico de 20 A	Und.	3	120.00	360.00
1.1.7	Tablero de distribución para inversor de bombeo solar y termomagnéticos	Und.	3	290.00	870.00
1.1.8	Soporte inclinado abierto de aluminio para cubierta plana de hormigón o subestructura (8 paneles)	Und.	13	1545.00	20085.00
1.1.9	Puesta a tierra (01 varilla Cu 5/8 pulgadas ϕ x2.40 m, 01 conector de Cu tipo AB 5/8 pulgadas, 01 caja de registro de concreto, 01 saco de bentonita 30 kg, 10 m conductor Cu 16 mm ²).	Glb.	1	680.00	680.00
1.2	Riego agrícola				505350.00
1.2.1	Electrobomba centrífuga normalizadas "EN 733" de la marca Pedrollo F65/160B, 11kW, trifásica 380 V CA	Und.	3	8200.00	24600.00
1.2.2	Válvula compuerta, 6 pulgadas	Und.	6	280.00	1680.00
1.2.3	Válvula compuerta, 10 pulgadas	Und.	1	470.00	470.00
1.2.4	Válvula check de pie 6 pulgadas	Und.	3	350.00	1050.00
1.2.5	Accesorio "T"	Und.	2	320.00	640.00
1.2.6	Ampliación 6 a 10 pulgadas	Und.	1	180.00	180.00
1.2.7	Anclaje para tubería 10 pulgadas	Und.	2440	12.00	29280.00
1.2.8	Tubo PVC , 6 pulgadas	m	150	55.00	8250.00
1.2.9	Tubo PVC , 10 pulgadas	m	7320	60.00	439200.00
1.3	Control inalámbrico del sistemas de bombeo				16150.00
1.3.1	Equipo de control inalámbrico del sistemas de bombeo, operación a 12 V CD, alcance 8 km	Glb.	1	11230.00	11230.00
1.3.2	Panel fotovoltaico mono cristalino de 50 Wp, voltaje máxima potencia 17.8 V	Und.	2	280.00	560.00
1.3.3	Contactador trifásico 20A	Und.	3	120.00	360.00
1.3.4	Caseta de estructura 7 x 4 m, y 3 m alto	Und.	2	2000.00	4000.00

II	Montaje electromecánico				148386.98
2.1	Montaje electromecánico del sistema de bombeo solar	Glb.	1	143386.98	143386.98
2.2	Acondicionamiento de pozo para bombeo de agua	Glb.	1	5000.00	5000.00
Total (CD)					S/. 800145.98
Transporte de materiales					S/. 24 004.38
Gastos generales					S/. 56 010.22
Total					S/. 880160.58

Los costos de mantenimiento es la columna vertebral del éxito de los proyectos de energía solar fotovoltaica fuera de la red. A pesar de la importancia del acceso al capital para cubrir el costo de los sistemas, el verdadero desafío es asignar una financiación sostenible para el mantenimiento de los sistemas a lo largo de su vida útil. Muchos proyectos han sido implementados con éxito por donantes internacionales en el pasado, pero fracasaron poco después debido a la falta de fondos de mantenimiento sostenible para el reemplazo de los componentes del sistema (International Energy Agency-IEA, 2014). El costo de mantenimiento por año y la vida útil del sistema a 25 años, se toma como el 2% del costo total de los paneles fotovoltaicos. Además los costos de operación y mantenimiento durante la vida del sistema fotovoltaico son bajos, en comparación con las centrales térmicas (Derbie, 2019).

En la Tabla 23, se muestran los costos de mantenimiento para el sistema de bombeo fotovoltaico para riego, que corresponde a los mantenimientos de la electrobomba, accesorios de riego, y del generador fotovoltaico.

Tabla 23

Costos anuales de mantenimiento, sistema de bombeo solar

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.0	Mantenimiento electrobomba	Glb.	1	492.00	492.00
2.0	Mantenimiento componentes y accesorios de riego	Glb.	1	2403.75	2403.75
3.0	Mantenimiento generador fotovoltaico (2 % Costo total de PFV)	Glb.	1	1724.80	1724.80
Total					4620.55

Nota. Costo de mantenimiento anual GFV (%), tomado (Derbie, 2019).

El precio de los módulos fotovoltaicos disminuyó drásticamente, debido a la mejora de la tecnología y la economía de escala de producción, pero los costos de inversión de los sistemas fotovoltaicos autónomos todavía sigue siendo altos. Las razones principales son la mayor inversión y los costos de reemplazo de las baterías. Además, el costo de los inversores fuera de

la red sigue siendo alto, principalmente los integrados con controladores de carga (International Energy Agency-IEA, 2014). Asimismo en la Tabla 24, se muestra costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico para el inversor y electrobomba. Para el proyecto, no se consideró reinversión en el año 20, con la finalidad de hacer más rentable el proyecto desde el punto de vista económico; además el inversor de bombeo solar seleccionado y la electrobomba, pueden seguir operando después del año de reemplazo previsto.

Tabla 24

Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.0	Inversor de bombeo solar Hober, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, rango de voltaje de entrada: 500-750V CD, y salida: 380V CA, 60 Hz	Und.	3	6500	19500.00
2.0	Electrobomba centrífuga normalizadas "EN 733" de la marca Pedrollo F65/160B, 11kW, trifásica 380 V CA	Und.	3	8200	24600.00
Total					S/. 44100.00

4.4.1 Costo Nivelado de Energía

Según García et al. (2015), el Costo Nivelado de Energía (LCOE) es la energía producida por el sistema fotovoltaico durante la vida útil, trasladando tanto los costos generados por su operación durante el mismo período de funcionamiento como la cantidad de producción a valor actual, gracias a la tasa de descuento d . El LCOE, está definido por la Ecuación (25), para cada año t .

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O \& M_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_{g,t}}{(1+d)^t}} \quad (25)$$

Donde:

I_t : Inversión inicial (S/.)

d : Tasa de descuento (%)

t : Tiempo de vida útil (años)

$O \& M_t$: Operación y mantenimiento (S/.)

$E_{g,t}$: Generación energía eléctrica (kWh)

Los estudios internacionales sobre los costos de generación de electricidad suelen utilizar tasas de descuento del 5% y el 7%, que se basan en precios reales, pero se pueden utilizar tasas de descuento más altas para proyectos de inversión privada (Guillen, 2015). Para la investigación, el LCOE de generación fotovoltaica para el sistema de bombeo, se ha determinado con una tasa de descuento del 7%. La Tabla 25, muestran los resultados de cálculo del LCOE. Resultando que el Costo Nivelado de Energía (LCOE) es 1.547 S./kWh.

Tabla 25

Resultados LCOE del sistema de bombeo solar

Año	Inversión	Producción Energía	Costos O&M	Costos Recurrentes	Costos Anuales Totales	Producción a Valor Presente	Costos Anuales a Valor Presente
	(S/.)	(kWh)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(kWh)	(S/.)
0	880160.58				880160.58		880160.58
1		53062.30	4620.55		4620.55	49590.93	4318.27
2		53062.30	4620.55		4620.55	46346.67	4035.77
3		53062.30	4620.55		4620.55	43314.64	3771.75
4		53062.30	4620.55		4620.55	40480.97	3525.00
5		53062.30	4620.55		4620.55	37832.69	3294.39
6		53062.30	4620.55		4620.55	35357.65	3078.87
7		53062.30	4620.55		4620.55	33044.53	2877.45
8		53062.30	4620.55		4620.55	30882.74	2689.20
9		53062.30	4620.55		4620.55	28862.38	2513.27
10		53062.30	4620.55	44100.00	48720.55	26974.18	24767.06
11		53062.30	4620.55		4620.55	25209.52	2195.19
12		53062.30	4620.55		4620.55	23560.30	2051.58
13		53062.30	4620.55		4620.55	22018.97	1917.36
14		53062.30	4620.55		4620.55	20578.47	1791.93
15		53062.30	4620.55		4620.55	19232.22	1674.70
16		53062.30	4620.55		4620.55	17974.04	1565.14
17		53062.30	4620.55		4620.55	16798.17	1462.75
18		53062.30	4620.55		4620.55	15699.22	1367.05
19		53062.30	4620.55		4620.55	14672.17	1277.62
20		53062.30	4620.55		4620.55	13712.31	1194.04
21		53062.30	4620.55		4620.55	12815.24	1115.92
22		53062.30	4620.55		4620.55	11976.86	1042.92
23		53062.30	4620.55		4620.55	11193.33	974.69
24		53062.30	4620.55		4620.55	10461.05	910.93
25		53062.30	4620.55		4620.55	9776.69	851.33
Totales:						618 365.93	956 424.75
LCOE (S./kWh)						1.547	

4.4.2 Indicadores economicos

Kumar (2015) el indicador Valor Actual Neto (VAN) se determina con la Ecuación (26).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i_t)^t} - I_0 \quad (26)$$

Donde:

FC_t : Flujo de caja en el t -ésimo año (S/.)

I_0 : Inversión inicial (S/.)

t : Tiempo de vida útil (años).

$1/(1+i_t)^t$: Factor de descuento

Además Kumar (2015), indica que la Tasa Interna de Retorno (TIR) a la tasa de interés R para que su valor neto sea igual a cero, y se determina mediante la Ecuación (27).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - I_0 = 0 \quad (27)$$

Donde:

n : Años que dura la inversión

R : Tipo de interés o tasa de retorno

El Tiempo de Recuperación (TR) es un indicador económico que puede dar indicaciones demasiado optimistas ya que no tiene en cuenta la duración de la inversión y el costo del capital, y la relación entre la inversión inicial y el flujo de caja efectivo. (Kumar, 2015). El TR se determina con la Ecuación (28).

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (28)$$

La evaluación económica del sistema de bombeo solar se realizó para una tasa de interés para el VAN del 10 y 12 %, resultando no rentable. En la Tabla 26, se muestran los resultados de la evaluación económica del sistema de bombeo solar para un escenario, tomando una tasa de interés para el VAN del 6%, resultando rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.59 años, con un VAN S/. 85294.76 positivo, y el TIR 7 %.

Tabla 26*Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo solar*

Año	Inversión (S/.)	Energía		Resultados					
		Producción Energía (kWh)	LCOE (S/./kWh)	Ingresos (S/.)	Pagos (S/.)	Flujo Neto Caja (S/.)	FNC Actualizado (Cálculo del VAN) (S/.)	Flujo Neto Caja Acumulado (S/.)	Tiempo Recuperación (TR) (Años)
0	880160.58					-880160.58	-880160.58	-880160.58	
1		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	73066.75	-807093.83	
2		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	68930.89	-738162.94	
3		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	65029.14	-673133.79	
4		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	61348.25	-611785.54	
5		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	57875.71	-553909.83	
6		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	54599.72	-499310.11	
7		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	51509.17	-447800.94	
8		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	48593.56	-399207.38	
9		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	45842.98	-353364.40	
10	44100.00	53062.30	1.547	82071.30	48720.55	33350.75	18622.89	-334741.51	
11		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	40800.09	-293941.42	
12		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	38490.65	-255450.77	
13		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	36311.93	-219138.83	
14		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	34256.54	-184882.29	
15		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	32317.49	-152564.80	
16		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	30488.20	-122076.60	
17		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	28762.45	-93314.14	
18		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	27134.39	-66179.75	
19		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	25598.48	-40581.27	
20		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	24149.51	-16431.76	20.59
21		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	22782.56	6350.79	
22		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	21492.98	27843.77	
23		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	20276.39	48120.17	
24		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	19128.67	67248.84	
25		53062.30	1.547	82071.30	4620.55	77450.75	18045.92	85294.76	
				TIR (%)		7.00%	S/. 85294.76		
				TR (años)		20.59			
				Interés para VAN		6%			
				VAN		S/. 85294.76			

Nota. Interés para el VAN de 6 %.

V. Discusión

El recurso hídrico requerido para la parcela Las Pampas en el cultivo de diez hectáreas de maíz es de 1523 m³/día en la etapa de mayor consumo de agua. Por otra parte la radiación solar para el ángulo óptimo calculado (7.75°) es de 3.74 kWh/m²/día en el mes de mayo como más desfavorable, considerando 3.74 HSP, se requiere una demanda de agua para la parcela de 407.22 m³/h. A diferencia que Felicien (2023) para el riego de un cultivo de maíz de una hectárea, los datos meteorológicos del sitio, la radiación solar y la evapotranspiración de referencia se obtuvieron de la estación meteorológica utilizando el software CLIMWAT. Al ingresar esos datos en combinación con el suelo del sitio y la fecha de plantación elegida en el software CROPWAT 8.0, se determinaron la lluvia efectiva y los requisitos de agua de riego del cultivo. Los mayores promedios diarios de evapotranspiración e irradiación solar de referencia se obtuvieron para el mes de agosto con valores respectivos de 4.65 mm y 19.0 MJ/m². La mayor demanda de agua y máximo número de horas de sol se encuentran en el mes de julio con valores respectivos de 52.6 mm/dec. Para el riego adecuado de una hectárea de cultivo de maíz durante el mes de julio, el requerimiento diario de agua ha sido de 52.6 m³, correspondiente a un caudal de 117 LPM. Así mismo Diarra et al. (2021), en su investigación diseña un sistema de riego por goteo mediante bombeo fotovoltaico de una parcela para cultivos de hortalizas (tomate, maíz, patata y berenjena). Los diversos resultados obtenidos durante este estudio se refieren principalmente a la determinación de los parámetros meteorológicos (temperatura, irradiación solar, precipitación y humedad relativa) del sitio, las necesidades diarias de agua (150 m³) para el riego de siete hectáreas, de las cuales 50 m³ para cada parcela de cultivo (2.333 hectáreas) dividida en 4 sectores. La demanda hídrica depende del tipo de cultivo, y metodología utilizada tomando parámetros meteorológicos del lugar, y también de la cantidad de hectáreas de cultivo.

En la cuantificación de energía requerida para el sistema de bombeo solar, primeramente se determinó el recorrido de las tuberías entre el punto de captación de agua y la parcela La Pampas se estableció en 37 puntos por las curvas de nivel teniendo un recorrido total de 7.32 km. La altura energética total incluido las pérdidas es de 13.68 m, la energía hidráulica resultó 56.79 kWh/día, y la potencia del motor eléctrico de 31.67 kW. Diarra et al. (2021) las dimensiones del sistema de bombeo HMT es 10.45 m, el caudal diario de cada bomba 58.517 m³ o 14.203 m³/h, la energía consumida por cada motobomba 4443.586 Wh/día. Por otra parte

Dávila (2022) determinó que la potencia del sistema de bombeo de agua fotovoltaico para cultivo de una hectárea de maíz, resultó 10.11 kWh/día, para una demanda hídrica de 75.8 m³/día (20.54 m³/h), altura manométrica de 48.95 m que incluye pérdidas del 10 %. La energía eléctrica de potencia máxima fue de 25.28 kWh/día. Para 3.77 hora aprovechables de sol para el peor mes en radiación, se obtuvo una potencia teórica necesaria del motor de aproximadamente 7 kW. La energía y potencia del sistema de bombeo depende de la demanda hídrica y de la altura manométrica de bombeo, incluido las pérdidas.

Dentro de los cálculos y se seleccionó los componentes del sistema de bombeo solar, como mejor criterio técnico se consideró seleccionar tres electrobombas centrífugas normalizadas "EN 733" de la marca Pedrollo F65/160B hacer conectadas en paralelo, pudiendo dar un caudal máximo de 144 m³/h y una potencia de 11kW cada una, con un voltaje trifásica 380 V CA. Para la generación fotovoltaica se seleccionaron 102 paneles fotovoltaico mono cristalino de 545 Wp, voltaje máxima potencia 40.89 V. Por otra parte se seleccionaron tres inversores de bombeo solar Hober, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, rango de voltaje de entrada: 500-750V CD, y salida: 380V CA, 60 Hz. También se seleccionó un control inalámbrico del sistemas de bombeo, por la distancia entre la captación de agua y la parcela Las Pampas. Felicien (2023) utiliza una herramienta de dimensionamiento de GRUNDFOS, y seleccionó la bomba SQF-5A-7. Conectaron seis módulos en serie para suministrar una potencia eléctrica de 1.62 kW. Así mismo Diarra et al. (2021) seleccionó el panel solar Cip-80-315 de potencia pico unitaria 315 Wp, potencia total del campo 4728.24 Wp, voltaje por rama 199 voltios y corriente total en la conexión en paralelo 23.76 A. El campo fotovoltaico está formado por cinco módulos en serie y tres en paralelo, para un total de 15 módulos; y se ha completado el diagrama de instalación de todo el sistema. Existe coincidencias con Dávila (2022), que selecciona un inversor de bombeo solar Hober HSPL11KHA/B, 11 kW, voltaje 500-750V CD, y salida trifásica 380V CA; y una electrobomba centrífuga de succión de superficie Pedrollo F50/250C, 11 kW, trifásica 380 V CA, que cumple con la altura manométrica, caudal pico. La selección de equipos y la topología del sistema de bombeo fotovoltaica van a depender de las condiciones topográficas de la zona, tipo de cultivo, demanda de agua, y equipos disponibles en el mercado.

Para la evaluación económicamente del sistema de bombeo solar para cultivo de maíz, se evaluó a 25 años. Para una tasa de interés para el VAN del 6 % resultó rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.59 años, VAN S/. 85294.76 positivo, y el TIR 7 %; la evaluación económica se realizó con un LCOE calculado de 1.547 S/./kWh; en el año 10 se consideró un

costo de reinversión para el inversor solar y la electrobomba. Metodología que concuerda con Bermeo y Silva (2022) que realizó la evaluación financiera del sistema de bombeo de agua fotovoltaico, el proyecto es rentable con un VAN de S/. 7933.12 positivo, TIR 12%, período de recuperación 15 años; el LCOE calculado es de 0.67 S/./kWh, para una tasa del VAN de 10%, vida útil 20, costos de reinversión de inversor y bomba (año 10) por S/.11500.00. También hay coincidencias en la metodología de cálculo con Dávila (2022) que también calculó el precio de la energía eléctrica, resultando LCOE de 0.517 S/./kWh con una tasa de descuento del 10%. La evaluación financiera del sistema de bombeo de agua solar se evaluó a 25 años, y el porcentaje de interés para el VAN es del 10%, resulta no es rentable. Asimismo, tomó un interés del VAN en 9% dando una utilidad y el VAN de S/. 5043.61 positivo. El LCOE varía de acuerdo a la tasa de descuento, mientras más grande es la generación los costos de energía deben disminuir, para el caso del proyecto el LCOE es alto en comparación con las fuentes consultadas, esto debido a que los costos de suministro de materiales del apartado de riego es muy alto, ya que el agua se debe suministrar desde una distancia de aproximadamente 7.32 km.

Conclusiones

El recurso hídrico requerido para la parcela Las Pampas en el cultivo de diez hectáreas de maíz es de 1523 m³/día en la etapa de mayor consumo de agua. Por otra parte la radiación solar para el ángulo óptimo calculado (7.75°) es de 3.74 kWh/m²/día en el mes de mayo como más desfavorable, considerando 3.74 HSP, se requiere una demanda de agua para la parcela de 407.22 m³/h.

Se cuantificó la energía requerida para el sistema de bombeo solar, primeramente se determinó el recorrido de las tuberías entre el punto de captación de agua y la parcela La Pampas se estableció en 37 puntos por las curvas de nivel teniendo un recorrido total entre subidas y bajadas en el terreno de 7.320 km. La altura energética total incluido las perdidas es de 13.68 m, la energía hidráulica resultó 56.79 kWh/día, y la potencia del motor eléctrico de 31.67 kW.

Se realizaron los cálculos y se seleccionó los componentes del sistema de bombeo solar. Como un mejor criterio técnico se consideró seleccionar tres electrobombas centrífugas normalizadas "EN 733" de la marca Pedrollo F65/160B hacer conectadas en paralelo, pudiendo dar un caudal máximo de 144 m³/h y una potencia de 11kW cada una, con un voltaje trifásica 380 V CA. Para la generación fotovoltaica se seleccionaron 102 paneles fotovoltaico mono cristalino de 545 Wp, voltaje máxima potencia 40.89 V. Por otra parte se seleccionaron tres inversores de bombeo solar Hober, modelo HSPL15KHA/B de 15 kW, rango de voltaje de entrada: 500-750V CD, y salida: 380V CA, 60 Hz. También se seleccionó un control inalámbrico del sistemas de bombeo, por la distancia entre la captación de agua y la parcela Las Pampas.

La evaluación económicamente del sistema de bombeo solar para cultivo de maíz, se evaluó a 25 años. Para una tasa de interés para el VAN del 6 % resultó rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.59 años, VAN S/. 85294.76 positivo, y el TIR 7 %; la evaluación económica se realizó con un LCOE calculado de 1.547 S/./kWh; en el año 10 se consideró un costo de reinversión para el inversor solar y la electrobomba.

Recomendaciones

Determinar el recurso hídrico en campo mediante instrumentos de observación directa, o algunas metodologías de cálculo.

Dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico utilizando otras topologías, y otros sistemas de riego, y con la posibilidad de considerar un riego por sectores, y disminuir la potencia del sistema de bombeo.

Buscar el financiamiento en alguna entidad pública o privada para la ejecución del proyecto ya que es rentable desde el punto de vista ambiental, y económico al largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Agredano, J. (2017). Tecnología fotovoltaica. *Tendencias Tecnológicas*, 58-64. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Agredano-2/publication/237589407_Tecnologia_fotovoltaica/links/59bfce5e0f7e9b48a29b90f2/Tecnologia-fotovoltaica.pdf
- Akbar, T., Mufti, A. U. G. M., y Khurshid, N. (2015). Potential and viability of stand alone solar PV systems for rural electrification of Pakistan by using RET screen software. *International Journal of Smart Home*, 9(8), 11-18. <https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.8.02>
- Alonso, A., Chenlo, F., & Blanco, J. (s.f.). Optimización del uso de convertidores de frecuencia con bombas centrifugas y motores trifásicos en sistemas de bombeo fotovoltaico. *Ciemat*, -25. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48128903/OPTIMIZACION_DEL_USO_DE_CONVERTIDORES_DE_20160817-3082-enkhik-libre.pdf?1471471303=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DOptimizacion_Del_Uso_De
- Arrieta, E. (2018). *Método inductivo y deductivo*. Obtenido de diferenciador.com: <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- 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>
- Berrú, R., & Utreras, S. (2009). *Diseño y construcción de un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para el laboratorio de energías renovables del DECEM*. Sangolqui, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- Bolaños, R. J., Perea, H. R., & Rivera, S. M. (2018). *Propuesta de Bombeo Solar para un Sistema de Riego Agrícola Semi Automatizado Mediante un Tanque Elevado en el Municipio de Tecamac, Estado de México*. Tesis Pre Grado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.
- Cajal, A. (31 de Enero de 2019). *Observación directa: características, tipos y ejemplo*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/observacion-directa/>
- Castro, R. (2021). *Propuesta de la actualización de la política y estrategia nacional de los recursos hídricos: Determinación de la situación futura deseada*. Tesis Pregrado, Universidad de Lima, Carrera de Ingeniería Industrial, Lima. Obtenido de

- [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/15371/Castro_Propuesta-Actualizaci%
c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/15371/Castro_Propuesta-Actualizaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 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>
- Dávila, C. (2022). Dimensionamiento de un Sistema de Bombeo de Agua Fotovoltaico para Riego Agrícola en el Caserío San Lorenzo, Distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas [Universidad Politécnica Amazónica]. <http://hdl.handle.net/20.500.12897/139>
- Derbie, S. (2019). Design of a Standalone Photovoltaic System for a Typical Household around Dessie City-Ethiopia. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.12691/ajeee-7-1-1>
- Diarra, A., Sakouvogui, A., BAH, M., y Keïta, M. (2021). Study and Sizing of a Drip Irrigation System by Photovoltaic Pumping in the District of Bellel , Mamou Prefecture. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET)*, 5(5), 505027. <https://doi.org/https://doi.org/10.47001/IRJIET/2021.505027>
- FAO. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma, Italia.
- Felicien, N. (2023). Design of photovoltaic water pumping system: case study Gasabo District. *Global Scientific Journals*, 11(3), 791-812. www.globalscientificjournal.com
- Florián, H. (2022). Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico para la demanda eléctrica del Taller de Procesos de Manufactura de la Universidad Politécnica Amazónica [Universidad Politécnica Amazónica]. <http://hdl.handle.net/20.500.12897/92>
- Gamal, A., EL-Ghetany, H. H., Elsayed, A. M., y Zedan, I. T. (2022). Theoretical analysis of different solar water pumping irrigation systems for seasonal crops in three geographical locations in Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(3), 227-243. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.78302.3834>
- 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>
- Glasnovic, Z., y Margeta, J. (2007). A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. *Solar Energy*, 81(7), 904-916.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.11.003>
- 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.).
- Guzmán, C. L. (2020). *Diseño de sistema fotovoltaico para abastecer energía eléctrica al sistema de bombeo del Fundo San José Sector Montegrande Reque – Chiclayo*. Tesis Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Chiclayo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49537>
- IDAE. (2009). Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Pliego. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. www.idae.es
- International Energy Agency-IEA. (2014). PV Systems for Rural Health Facilities in Developing Areas. En Researchgate.Net.
<https://www.researchgate.net/publication/273762878>
- Jiménez, S. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer energía eléctrica a un sistema de bombeo del fundo Pimaguel, Centro Poblado Shonto del distrito de salas departamento de Lambayeque*. Universidad Señor de Sipan, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Chiclayo .
- Khan, M. A., Islam, Z., y Hafeez, M. (2011). Irrigation Water Demand Forecasting - A Data Pre-processing and Data Mining Approach Based on Spatiotemporal Data Irrigation Water Demand Forecasting – A Data Pre-Processing and Data Mining Approach based on Spatio-Temporal Data . Proceedings of the 9-th Australasian Data Mining Conference (AusDM'11), Ballarat, Australia, December.
<https://www.researchgate.net/publication/236894363%0AIrrigation>
- 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>
- Kuzey, Ş., Şeke, C., Elweddad, M., y Güneşer, M. T. (2021). Designing an irrigation system using photovoltaic energy by considering crop type in Fergana Valley. 01004, 1-7.

- López, P. L. (2004). Problación muestra y muestreo. *Punto Cero*, 69-74. Obtenido de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- 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>
- MINAGRI. (2015). *Manual de Determinación de la eficiencia en el Riego*. Lima: DGIAR.
- 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>
- Monge, M. (2019). *Qué es y cómo se calcula el NPSHdisp de una bomba centrífuga*. Obtenido de iagua.es: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npshdisp-bomba-centrifuga>
- Moreno, Z. (2017). Sistema de aspersión solar para la producción sostenible bio-integrada de policultivos en zonas con potencial hídrico (Número Mayo). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29305.88164>
- Pareja, M. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación Aislada*. (Marcombo (ed.); 3era Ed.).
- Rose, J. L., Pitchaiah, S., y Allwyn, T. P. (2021). Design and Development of Solar Powered Agriculture Water Pump Irrigation System. *Volatiles & Essent. Oils*, 8(4), 1516-1526.
- Salas, J. (10 de julio de 2010). *Cálculo turbina FRANCIS. 21ª Parte*. Obtenido de <http://turbinashidraulica.blogspot.com/>
<http://turbinashidraulica.blogspot.com/2010/07/calculo-turbina-francis-21-parte.html>
- Scheierling, S. M., Loomis, J. B., y Young, R. A. (2006). Irrigation water demand : A meta-analysis of price elasticities. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 42, 1-9. <https://doi.org/10.1029/2005WR004009>
- Sales, G., Segui, S., & Ort, S. (2011). *Convertidores electronicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Torres, A. D. (2014). *Diseño de un sistema Automatizado para Riego por Goteo para Palta Hass*. Lima: PUCP.
- UNAN. (2020). Aplicación de la técnica de análisis documental. *Guía Metodológica*, 6. Managua, Nicaragua: UNAN. Obtenido de <https://www.unan.edu.ni/wp-content/uploads/unan-managua-gua-aplic-analisis-documental.pdf>

Wresta, A., Andriani, D., Saepudin, A., y Sudiby, H. (2015). Economic analysis of cow manure biogas as energy source for electricity power generation in small scale ranch. *Energy Procedia*, 68, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.240>

Anexos

Anexo 01. Instrumentos de recolección de datos

Instrumento. Guía de observación de datos topográficos y alturas manométricas

Lugar:

Fecha:

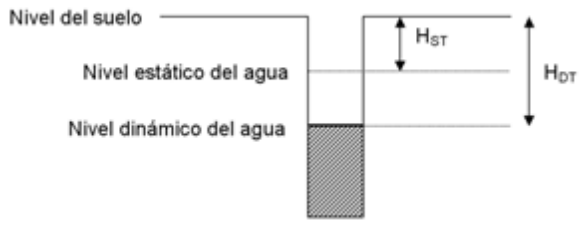
1. Topografía

Punto	Cota (m.s.n.m)	Distancia (m)
Po		
P1		
P2		
P3		
...		
Pn		

2. Dimensiones de la parcela para riego

Dimensiones	Medida (m, m ²)
Largo x ancho	
Área de la parcela	
Esquema de la parcela	

2. Características del canal o pozo de bombeo de agua

Alturas manométricas para bombeo de agua	Medida (m)
Altura estática de agua (H_{ST})	
Altura dinámica de agua (H_{DT})	
Dimensiones del canal o pozo de captación	
	

Instrumento. Ficha de registro de radiación solar

Lugar:

Latitud:

Longitud:

Fecha:

Mes	Radiación para diferentes ángulos de inclinación (kWh/m ² /día)				
	Ángulo 0°	Ángulo Latitud	Ángulo Latitud -15	Ángulo Latitud +15	Ángulo 90°
Ene					
Feb					
Mar					
Abr					
May					
Jun					
Jul					
Ago					
Sep					
Oct					
Nov					
Dic					



Anexo 02. Validación de instrumentos

Constancia de evaluación

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, con DNI 40695828, de profesión Ingeniero Mecánico Electricista, con Registro CIP 86534; desempeñándome como Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, hago constar:

Por medio de la presente he revisado con fines de validación de los instrumentos: “Guía de observación de datos topográficos y alturas manométricas” y “Ficha de registro de radiación solar”; de la tesis del Bachiller en Ingeniería Mecánica Yolmer León Toro, titulada “**Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande - Amazonas**”.

Luego de realizar la revisión y observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

Criterio de evaluación: MA = 5 (X) A = 4 () PA = 3 () I = 2 ()

Ítem	Criterio	Muy adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
1	Congruencia de ítems	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Aptitud de contenido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Redacción de ítems	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Metodología	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Pertinencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Coherencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Organización	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Objetividad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Claridad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Puntaje obtenido

Donde: Muy adecuado MA (37 – 45), Adecuado A (28 – 36), Poco adecuado PA (19 – 27), Inadecuado I (0 – 18)

Conclusión: El instrumento es: Muy adecuado.

En señal de conformidad firmo la presente, en la ciudad de Bagua Grande a los 31 días del mes de octubre del 2023.

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez
Coordinador Escuela Profesional
Ingeniería Mecánica -UPA

Anexo 03. Matriz de consistencia

1. TITULO:	4. VARIABLES DE ESTUDIO	8. INSTRUMENTOS
<p>Diseño de un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Variable independiente: Diseño de sistema de bombeo solar. - Variable dependiente: Demanda hídrica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Guía de observación de datos topográficos y alturas manométricas. - Ficha de registro de radiación solar.
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	5. HIPOTESIS	9. ANALISIS ESTADISTICO
<p>¿Se podrá diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas?.</p>	<p>Si se puede diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas</p>	<p>Para el análisis estadístico se realizó con estadística descriptiva, donde se analizan los datos recolectados, para posteriormente describir su comportamiento en el contexto de la investigación. Esta descripción se realizó mediante tablas y figuras, medidas numéricas utilizando la herramienta Excel.</p>
3. OBJETIVOS	6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	
<p>3.1. Objetivo general Diseñar un sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas del caserío Pangamito, Bagua Grande – Amazonas..</p> <p>3.2 Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar la demanda de agua de la parcela Las Pampas. - Cuantificar la energía requerida del sistema de bombeo solar para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas. - Calcular y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar de la parcela Las Pampas. - Evaluar económicamente el sistema de bombeo solar para para la demanda hídrica de la parcela Las Pampas. 	<p>El tipo de investigación es básica, con un nivel de investigación descriptivo. El diseño de la investigación es descriptivo correlacional causal, no experimental.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>M: VI - - - - -> VD</p> <p style="text-align: center;">r</p> <p>Donde:</p> <p>M: Muestra</p> <p>VI: Diseño de sistema de bombeo solar</p> <p>VD: Demanda hídrica</p> <p>r Relación de variables</p> </div>	
7. POBLACION Y MUESTRA	<p>Población:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sembrío de maíz en la parcela Las Pampas. - Radiación solar en la parcela Las Pampas. <p>Muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sembrío de maíz en la parcela Las Pampas, año 2021. - Radiación solar en la parcela Las Pampas, año 2021. <p>Muestreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No probabilística bajo el criterio del investigador. 	

Anexo 04. Fichas técnicas de materiales y equipos

ATLAS by Eco Green Energy

EGE-530/550W-144M(M10)

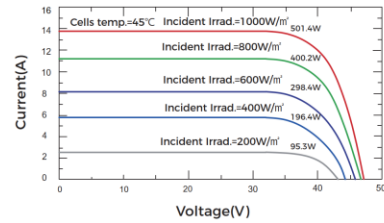
V1-2022

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	20.51 %	20.70 %	20.89 %	21.09 %	21.28 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.58 V	40.68 V	40.79 V	40.89 V	40.98 V
Maximum power current (Imp)	13.06 A	13.15 A	13.24 A	13.33 A	13.42 A
Open circuit voltage (Voc)	49.29 V	49.39 V	49.49 V	49.59 V	49.68 V
Short circuit current (Isc)	13.64 A	13.73 A	13.83 A	13.92 A	14.01 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

PV MODULE : EGE-540W-144M(M10)

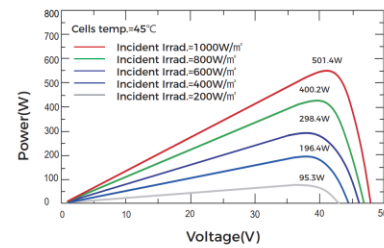


ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	395.18 W	398.91 W	402.64 W	406.37 W	410.10 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.05 V	38.14 V	38.24 V	38.33 V	38.42 V
Maximum power current (Imp)	10.37 A	10.44 A	10.52 A	10.59 A	10.66 A
Open circuit voltage (Voc)	45.71 V	45.80 V	45.90 V	45.99 V	46.07 V
Short circuit current (Isc)	11.09 A	11.16 A	11.24 A	11.32 A	11.39 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

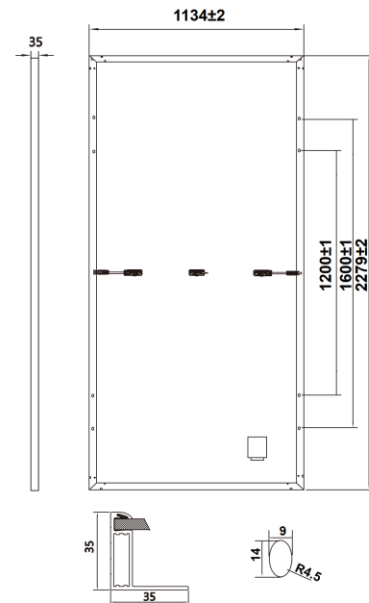
PV MODULE : EGE-540W-144M(M10)



MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (182x91 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2279x1134x35mm (1.5mm Cell Gap)
Weight	29 kg
Glass	3.2 mm tempered glass, High transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4.0mm ² ; 300mm(+) / 300mm(-) ; Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

Dimension of PV Module (mm)



TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45°C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.048%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1500 DC (IEC)
Max series fuse rating	25 A

PACKAGING (2279x1134x35mm)

Type	Pcs	Weight
Per Pallet	31 pcs	940 kg
40ft HQ Container	620 pcs (20 pallets)	18.80 t



Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice. Refer to our website for further information or contact one of our sales staff. www.eco-greenenergy.com

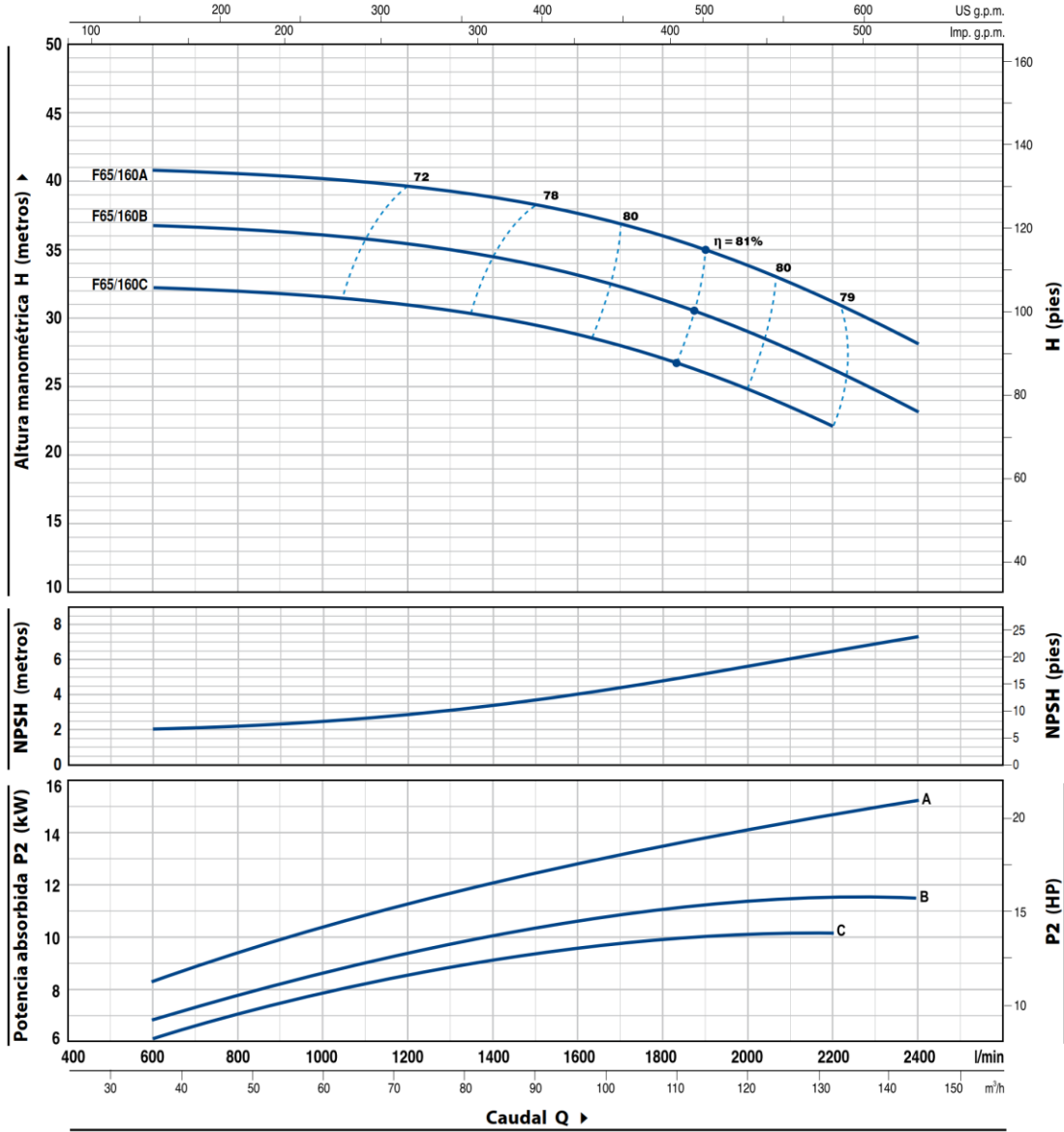
Specification Parameter

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 DC input Low/Over Voltage DC Input Anti-Reverse Output Overload, Output short circuit Over temperature Sensor of water Empty /Full (Water empty of Well and Water full of Tank) Lightning 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

www.hobertech.com

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m



MODELO	POTENCIA		Q	Flow Rate (Q)											
	kW	HP		m³/h	0	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144
Trifásica			l/min	0	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	
F 65/160C	9.2	12.5	H metros	32	32	32	32	32	30	29	27	25	22		
F 65/160B	11	15		37	36.5	36.5	36	35.5	34	33	31	29	26	23	
F 65/160A	15	20		41	40.5	40.5	40	39.5	39	37.5	36	34	31	28	

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

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Anexo 05. Fotografías



Nota. Características de una parte de la parcela con cultivo de maíz (etapa de cosecha).



Nota. Toma de datos y rutas para recorrido de las tuberías de PVC.