



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA
SEMBRIOS DE MANGO DE HASTA 01 HECTÁREA, EN
EL DISTRITO DE OLMOS - LAMBAYEQUE**

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

Autor:

Bach. Romero Gutierrez Darling Enrique

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2621-4785>

Asesor:

MSc. Rojas Coronel Ángel Marcelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2720-9707>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2024

**DISEÑO DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA SEMBRIOS DE MANGO
DE HASTA 01 HECTÁREA, EN EL DISTRITO DE OLMOS - LAMBAYEQUE**

Aprobación del jurado

Dra. GASTIABURÚ MORALES SILVIA YVONE

Presidente del Jurado de Tesis

Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS

Secretario del Jurado de Tesis

MSc. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO

Vocal del Jurado de Tesis



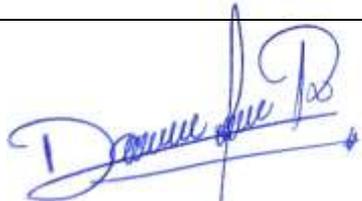
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s)del Programa de Estudios de **Ingeniería mecánica eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

DISEÑO DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA SEMBRIOS DE MANGO DE HASTA 01 HECTÁREA, EN EL DISTRITO DE OLMOS - LAMBAYEQUE

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Romero Gutierrez Darling Enrique	DNI: 45777992	
----------------------------------	---------------	---

Pimentel, 18 de junio del 2024.

Dedicatoria

Dedicado a mis queridos Padres que tanto amo, Enrique y Rosario, por brindarme su apoyo incondicional día a día e incentivarme a cumplir todas mis metas propuestas.

Dedico de manera especial a mi esposa Karem y mi hijo Liam por estar a mi lado siempre en todo momento y servir de motivación para culminar mis propósitos. A mis hermanos, Antony, Celeste, Cecilia, a mi tía Santos y su familia por todos los consejos brindados a lo largo de este periplo.

Romero Gutiérrez Darling Enrique

Agradecimiento

Gracias a Dios en primer lugar por darme las fuerzas para culminar mi carrera de manera satisfactoria, a mis padres y a toda mi familia por confiar plenamente en mi persona, apoyarme y brindarme sus consejos día a día, Gracias a todos por creer en mí.

Romero Gutiérrez Darling Enrique

Índice

Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Resumen	9
Abstract	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad Problemática	11
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Hipótesis	15
1.4. Objetivos	15
1.5. Teorías relacionadas al tema	16
II. MATERIALES Y METODO	41
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	41
2.2. Variables, Operacionalización	41
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección	43
2.4. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos, validación y confiabilidad	43
2.5. Procedimiento para el análisis de datos	44
2.6. Criterios éticos	44
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1. Resultados de Tablas y Figuras	45
3.2. Discusión	67
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
4.1. Conclusiones	70
4.2. Recomendaciones	71
REFERENCIAS	72
ANEXOS	73

Índice de figuras

Figura 1 Área de influencia del proyecto	14
Figura 2 Prototipo del sistema de bombeo fotovoltaico	18
Figura 3 Bombas centrifugas y volumetricas	19
Figura 4 Elementos de un sistema de bombeo FV	21
Figura 5 Diseño de flujo de procesos	44
Figura 6 Ficha Técnica de Bomba	52
Figura 7 Curvas para Cálculo de caudal	52

Índice de tablas

Tabla 1 Requerimiento Hidrico del Mango por Ciclo	26
Tabla 2 Material de la tubería y su coeficiente	28
Tabla 3 Tipo de Bombas.....	32
Tabla 4 Operacionalización de variables	42
Tabla 5 Ubicación y Evaluacion del recurso solar del Proyecto	45
Tabla 6 Irradiacion Solar y Horas Solar Pico	46
Tabla 7 Valores de Referencia para la Tension	51
Tabla 8 Selección de cantidad de Paneles	53
Tabla 9 Caracteristicas tecnicas de los equipos fotovoltaicos	56
Tabla 10 Presupuesto General	65
Tabla 11 Especificaciones de la Bomba	66
Tabla 12 Componentes Panel Fotovoltaico	66
Tabla 13 Componente Regulador de Carga	67
Tabla 14 Componentes Tanque de Almacenamiento	67

Resumen

El presente trabajo de investigación se basa en el modelo para un sistema de bombeo mediante energía fotovoltaica, el cual será utilizado para el traslado de agua desde un lugar a otro, mediante un acondicionamiento de sistemas de bombeo aprovechando la radiación solar y así mejorar la calidad de vida de la población a través del sembrío de mango.

Para el desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la necesidad del consumo del agua (máxima demanda del volumen necesario por persona) para uso doméstico y agrícola. El parámetro de radiación solar por temporada para asegurar su uso constante se logró obtener del habla solar proporcionado por SENAMHI, y de esta manera seleccionar que componentes utilizar para el diseño.

El bombeo de agua por medio de este sistema conllevará a la utilización de energía renovable, el cual no perjudica al medio ambiente, así mismo promueve la conservación del planeta. El diseño del sistema de bombeo fotovoltaico se realizará en el Caserío de Pampa la Rosa, distrito de Olmos, provincia y departamento de Lambayeque, siendo una de su principal problemática la escasez de agua de uso diario, este recurso se encuentra aproximadamente a dos 2 Km de la comunidad, siendo un gran problema ya que este es un elemento vital para sus habitantes, por ello con el diseño de este sistema lograremos llevar el agua desde el pozo (noria) hasta una zona más cercana a ellos, logrando resolver este problema. El estudio de inversión será a todo costo, lo que conllevará al fácil acceso de la inversión privada a la ejecución de la misma, el precio de los suministros se encuentra accesibles de acuerdo al mercado.

Palabras claves: Radiación Solar, Sistema de Bombeo Solar, Panel Fotovoltaico.

Abstract

The present research work is based on the model for a pumping system using photovoltaic energy, which will be used to transfer water from one place to another, through conditioning of pumping systems taking advantage of solar radiation and thus improve the quality of life of the population through the mango plantation.

For the development of the project, a study was carried out on the need for water consumption (maximum demand for the necessary volume per person) for domestic and agricultural use. The solar radiation parameter per season to ensure its constant use was obtained from the solar speech provided by SENAMHI, and in this way select which components to use for the design.

Pumping water through this system will lead to the use of renewable energy, which does not harm the environment, and also promotes the conservation of the planet. The design of the photovoltaic pumping system will be carried out in the Pampa la Rosa Village, district of Olmos, province and department of Lambayeque, one of its main problems being the shortage of water for daily use, this resource is located approximately two 2 km away. of the community, being a big problem since this is a vital element for its inhabitants, therefore with the design of this system we will be able to take the water from the well (noria) to an area closer to them, managing to solve this problem. The investment study will be at all costs, which will lead to easy access for private investment to its execution, the price of supplies is accessible according to the market

KEY WORDS: Solar Radiation, Solar Pumping System, Photovoltaic Pan

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Con el transcurso de los años, en Baja California, el empleo de sistemas de bombeo fotovoltaicos ha evolucionado lo suficiente como para ser visto como una tecnología de confianza para proveer agua en áreas rurales. Tan solo en Brasil, hasta el año 2002, se habían instalado alrededor de un conjunto de 3255 sistemas de bombeo que funcionan con energía solar, sumando una capacidad total de 1,5 MWp.^{2.30}

En España, con el paso del tiempo, esta tecnología ha evidenciado ser un método eficaz para suministrar agua potable a usuarios y comunidades rurales, también su utilidad se extiende a aplicaciones agrícolas (como la irrigación) y ganaderas (abrevaderos). Desde los inicios de la implementación de sistemas de bombeo alimentados por energía fotovoltaica en 1978, el número de sistemas implementados en todo el mundo ha experimentado un crecimiento acelerado; algunos estudios sugieren que en 1994 ya funcionaban más de 10,000 unidades. Se destaca el éxito de diversos programas de colaboración a nivel internacional en el ámbito del bombeo con energía solar, como el "Programa Regional Solar del Sahel" (PRS), que ha llevado a la instalación de 829 sistemas de bombeo fotovoltaico con el fin de proveer agua a comunidades del ámbito rural. En conjunto, se implementaron un total de 641 unidades subacuáticas y 188 en la superficie, generando una capacidad fotovoltaica instalada combinada de 1258 kWp. También se introdujeron 538 sistemas para electrificar áreas rurales en 7 países de la región subsahariana. Proyectos similares se llevaron a cabo en Mali (con 40 sistemas en 1990), en India (500 sistemas en 1994 y 3320 en el año 2000) y en Filipinas (150 sistemas). [1]

Desde una perspectiva teórica, el bombeo de agua se adecua notablemente buena como una aplicación fotovoltaica, ya que no necesariamente depender de una batería: la bomba funciona cuando hay luz solar y el agua que se bombea puede ser guardada con facilidad. En términos puramente económicos, una bomba fotovoltaica se vuelve más rentable que una alimentada por un motor de petróleo hasta alcanzar niveles de energía hidráulica aproximados a los 2000 metros

cúbicos por día (determinados por la cantidad de agua bombeada y la altura de bombeo). Esta comparación, por supuesto, está sujeta al nivel de radiación solar y al costo del petróleo. A pesar de estas consideraciones, el alto costo inicial sigue restringiendo principalmente su uso para proveer agua potable apta para las personas, abrevaderos para animales o riego por goteo en cultivos. [2]

En el norte de Colombia, en Córdoba, se utiliza la energía disponible en el entorno mediante tecnología adecuada, lo cual ha generado una considerable reducción en los costos de consumo. Además, se espera que el uso de esta forma de energía renovable genere una reducción significativa en los gastos de mantenimiento y operación. Esto posibilitará que aquellos que aprovechen esta tecnología puedan ofrecer productos de alta calidad a un costo más asequible. [3]

En la finca San Antonio en la Isla de Ometepe, Rivas, se ha implementado un sistema de riego por goteo automatizado. Se ha concluido que la rentabilidad de este sistema de riego, alimentado por energía fotovoltaica, es óptima y oportuna para potenciar la eficiencia y productividad de los cultivos existentes. [4]

El incremento de la temperatura global y sus consecuencias, junto con los altos costos energéticos, están motivando al sector agrícola a buscar soluciones en las energías renovables. En este contexto, la energía fotovoltaica emerge como una alternativa económica que reduce considerablemente las emisiones de gas de efecto invernadero. [5]

En 2013, el Gobierno Regional de Piura resaltó que el agua es fundamental como un recurso vital por su función fundamental en el sustento de la vida, tanto para las personas como para los ecosistemas, enfatizando la necesidad de encontrar fuentes que permitan su uso sin dañar el medio ambiente. Entre estas fuentes, se destacaron los sistemas de bombeo fotovoltaico, aprovechando la excelente calidad de radiación solar en la región para llevar agua a zonas remotas.

Según el censo realizado por el MINEM en 2007, Perú contaba con 6 millones 400 mil 131 viviendas ocupadas, de las cuales el 46,4% enfrentaba carencias en cuanto a agua y saneamiento básico, siendo esta deficiencia más pronunciada en las áreas rurales. Esta situación se repite en todos los departamentos; en las zonas rurales de Piura, específicamente, el 98,3% de los hogares

tenían deficiencias en servicios de agua y saneamiento. [6]

Los paneles fotovoltaicos estacionarios deberían apuntar hacia el norte y ajustando el ángulo de inclinación para que sea igual a la latitud del área más 10° . En el caso de Piura, ubicado a una latitud de 5 grados al sur, el ángulo recomendado según las normativas sería de 15 grados hacia el norte.

En la región de Lambayeque, existen innumerables caseríos cuyo difícil acceso dificulta la extensión de la red eléctrica. Esta situación se convierte en un obstáculo para el progreso tecnológico y se refleja en un notorio rezago en comparación con otras regiones, sobre todo al contrastar con las ciudades que tienen fácil acceso al uso de la energía eléctrica.

Por esta razón, se vuelve crucial buscar fuentes de producción de energía eléctrica que sea confiable, segura y sobretodo sostenible. En este contexto, el uso de energía solar, como en el presente diseño, sería una alternativa viable que ayudaría a resolver esta problemática.

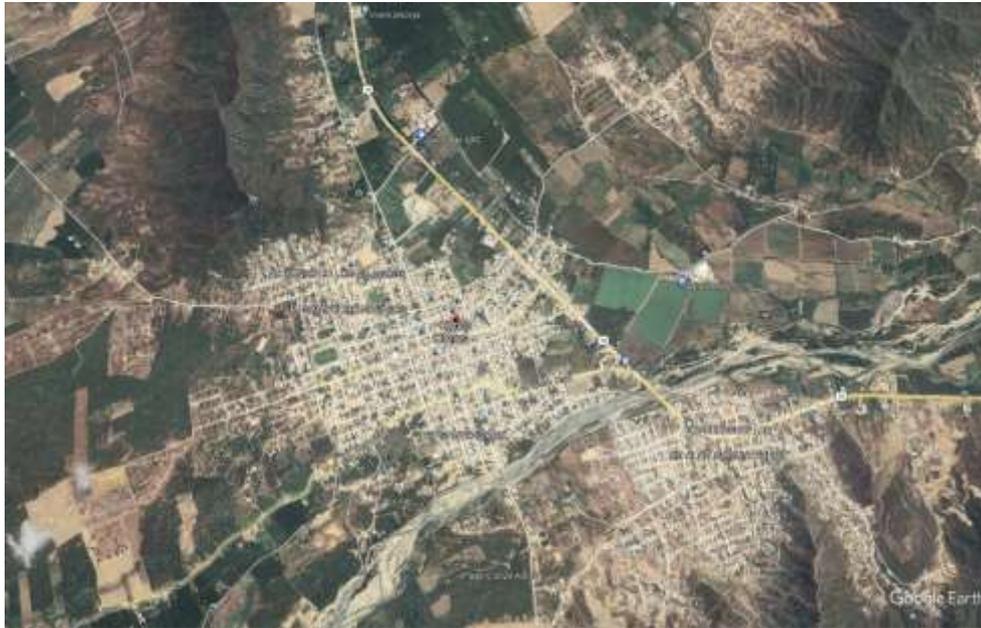
En el distrito de Olmos y sus caseríos alejados, las limitaciones previamente mencionadas suponen un obstáculo para su progreso. La transformación de energía solar en electricidad a través de paneles solares podría ser la solución a la falta de agua y mejorar los procesos vinculados a las actividades diarias de los habitantes de estas comunidades, como el bombeo de agua para la agricultura, específicamente el sembrío de mangos, actividad bastante requerido en dicho distrito y sus caseríos.

La investigación y recopilación de datos se llevarán a cabo en el distrito de Olmos, parte de la provincia y departamento de Lambayeque.

Este estudio se enfocará única y exclusivamente en el diseño y cálculo del sistema de generación de energía eléctrica para el bombeo de agua para Sembríos de hasta 1 Hectárea mediante el uso de paneles Solares.

Figura 1

Área de influencia del proyecto



Fuente: Google Earth

Coordenada UTM (WGS -84) S: 9338094.13

Coordenada UTM (WGS -84) E: 639106.99

Altitud: 18 msnm

Y limita:

Norte: Catacaos, Matanza, Buenos Aires y Salitral pertenecientes a las provincias de Piura

Oeste: Océano Pacífico (Punta Cabo Verde) y la provincia de Sechura, departamento de Piura.

Sur: Distrito de Morrope, departamento de Lambayeque.

Este: El distrito de Huarmaca, perteneciente a la provincia de Huancabamba, departamento de Piura

1.2. Formulación del problema

Es factible el uso de la energía solar como una alternativa viable para ayudar a proporcionar acceso al agua mediante bombeo para sembríos de mango de hasta 01 Hectárea en el distrito de Olmos, Provincia y Departamento de Lambayeque.

1.3. Hipótesis

Los paneles fotovoltaicos posibilitan la captación de energía solar y la convierten en energía eléctrica. Esta energía generada puede ser utilizada para abastecer sistemas de extracción de agua mediante bombeo.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de extracción de agua mediante bombeo fotovoltaico para mejorar la disponibilidad y facilitar el acceso al uso del agua para sembríos de mango de hasta 01 hectárea en el distrito de Olmos, Provincia Lambayeque.

Objetivos Específicos

- Evaluar el volumen requerido de agua para el uso en sembríos de mango de hasta 01 hectárea.
- Determinar los datos y características de la radiación del sol disponible para abastecer el sistema de bombeo fotovoltaico.
- Evaluar la potencia requerida para bombear agua mediante paneles fotovoltaicos para sembríos de mango de hasta 01 Hectárea.
- Diseñar un sistema de extracción por bombeo capaz de suministrar el volumen requerido de agua para sembríos de hasta 01 Hectárea.
- Diseñar un sistema de captación de energía mediante paneles solares para satisfacer las necesidades energéticas del sistema de bombeo seleccionado.
- Diseñar y Evaluar la viabilidad económica del proyecto.

1.5. Teorías relacionadas al tema

1.5.1. Introducción a los sistemas de bombeo a través de captación de energía solar.

La energía proveniente del sol y del viento se considera renovable debido a que no se agota en el lapso de tiempo de la vida humana y son recursos limpios y abundantemente disponibles. Tienen un enorme potencial para generar energía, la tecnología fotovoltaica, la cual transforma la radiación solar en energía eléctrica. y resulta muy útil en áreas remotas. Es necesario analizar tanto su factibilidad técnica como económica para determinar su adecuación en distintos usos, ya sean hogareños, industriales o agrícolas.

Dentro del ámbito agropecuario, se emplean tecnologías como la extracción de agua por bombeo, cercos eléctricos, calentadores de agua, congeladores y sistemas de secado de productos agrícolas, asimismo de proveer suministro eléctrico elemental para viviendas.

El bombeo de agua a pequeña escala es vital en zonas rurales que carecen de entrada a la red eléctrica tradicional. Los sistemas fotovoltaicos para bombeo son altamente confiables, duraderos y requieren poco mantenimiento, lo que resulta en menores costos a largo plazo en contraste con otras opciones disponibles. También son eco amigables al no contaminar el aire ni el agua ni generar ruido. Son modulares y pueden adaptarse fácilmente a los requerimientos del usuario. Además, son fáciles de operar, pero un trabajo exitoso requiere comprender la energía solar fotovoltaica, el sistema hidráulico y el funcionamiento del conjunto motor-bomba.

1.5.2. Energía Solar

La energía solar, al igual que la energía mini hidráulica y la energía eólica, es una forma de energía renovable. Esta energía proviene de la radiación electromagnética emitida por el sol y es capaz de desencadenar reacciones químicas o generar electricidad a través del efecto fotovoltaico mediante paneles solares. La energía solar es fundamental ya que es el origen de otras formas de

energía renovable, como la energía eólica, donde el sol genera diferencias de temperatura en la tierra que provocan vientos fuertes; la biomasa, que se forma a través del proceso de fotosíntesis impulsado por la luz solar; y la energía mini hidráulica, cuya existencia se debe al ciclo hidrológico impulsado por la energía solar. (Osinergmin 2019)

La principal ventaja de la energía solar radica en su carácter renovable y limpio. Los dispositivos de tecnología solar no requieren combustibles para su funcionamiento, no emiten gases dañinos para el medio ambiente ni generan residuos tóxicos. Por esta razón, el uso a nivel mundial de esta forma de energía tiene el potencial de reducir drásticamente el impacto ambiental. La energía solar complementa otras fuentes de energía renovable, como la eólica o la hidroeléctrica. Además, existen diversas formas de aprovecharla, como la generación de electricidad mediante paneles solares a gran escala o a nivel doméstico, así como también cocinas solares, termas solares, entre otros dispositivos. (Turgeon y Morse, 2021)

La desventaja del uso de paneles solares es el costo de inversión, aunque en algunos países se establece leyes de menores impuestos a personas que hacen uso de energías renovables, solar, eólica, etc. Los materiales usados son pesados y requieren de estructuras grandes y fuertes para sostener el peso de los equipos, esta tecnología es dependiente también del clima y el grado de nubosidad (Turgeon y Morse,2021)

1.5.3. Fundamentación de la energía Solar

1.5.3.1. Movimiento solar

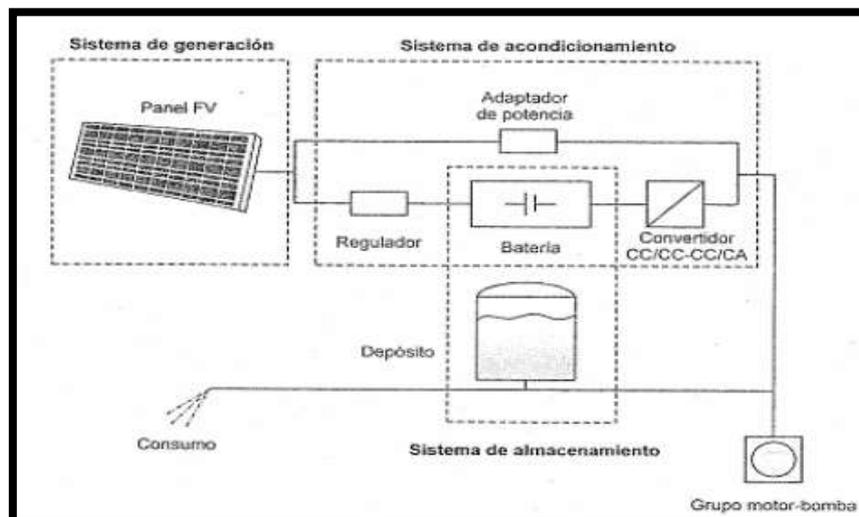
Los movimientos de rotación y traslación terrestre se perciben como el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste desde la superficie de la Tierra (Perpiñan, 2020). Para comprender este fenómeno de aparente movimiento solar, comúnmente se utiliza un sistema de coordenadas polares, que consiste en dos ángulos, los cuales facilitan la determinación de la posición relativa del Sol (Manzana, 2017, citado en Espinoza y Zanoni, 2021).

1.5.4. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico.

En términos generales, un sistema fotovoltaico (FV) para bombeo de agua consta de un generador FV, un conjunto motor/bomba, a veces un sistema que acondiciona la potencia para conectar el generador FV al motor, un sistema de almacenamiento, un depósito de agua (pozo) y un conjunto de tuberías, como se muestra en la figura (2). Aunque existen bombas de superficie y flotantes, la disposición más común es un conjunto motobomba sumergible instalado en un pozo de sondeo, que es la configuración que estaremos evaluando en nuestro modelo.

Figura 2

Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico



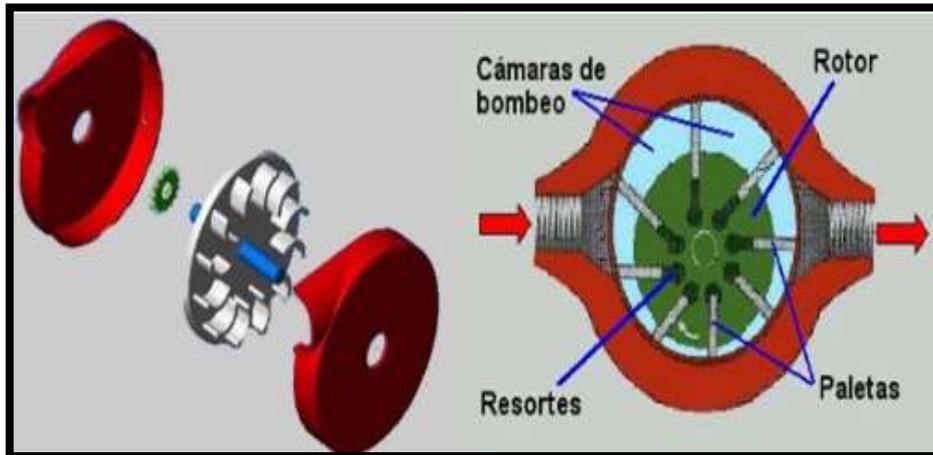
El generador fotovoltaico (FV) se compone de una serie y/o combinación en paralelo de paneles solares para lograr la potencia requerida dentro de los parámetros establecidos de voltaje y corriente operativos. Normalmente, este generador se instala en una estructura fija, pero se están implementando estructuras con seguimiento solar y baja concentración (2X). En estos casos, el aumento en la cantidad de agua bombeada puede superar incluso el aumento en la recolección de energía solar considerando los niveles óptimos de bombeo.

Como tecnología principal de los generadores fotovoltaicos es el silicio monocristalino o policristalino. En el ámbito de las bombas, encontramos las centrífugas de múltiples etapas y las de desplazamiento positivo. En términos de eficiencia, las bombas con desplazamiento positivo generalmente superan a las centrífugas cuando se comparan en rangos de potencia

similares. Sin embargo, requieren un alto par de arranque, por lo tanto, suelen requerir dispositivos de control de potencia, incluso si están impulsadas por motores de corriente continua (DC).

Figura 3

Bombas centrífugas y volumetricas



Los motores eléctricos pueden clasificarse en corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o en la variante de CC sin escobillas. Dentro de los sistemas de bombeo, es habitual encontrar la integración del motor y la bomba en una sola unidad compacta conocida como motobomba o simplemente bomba. Si bien en la mayoría de los sistemas de bombeo con energía solar fotovoltaica (FV) emplean motobombas sumergibles, también hay unidades flotantes o de superficie disponibles para ciertas aplicaciones.

El sistema de control para el bombeo o la gestión de la potencia comprende componentes tales como inversores DC/AC, convertidores DC/DC y reguladores de motor. Estos dispositivos se encargan de ajustar la energía proveniente del generador FV (corriente continua con tensiones y corrientes variables) para adecuarla a las necesidades del motor.

Los inversores DC/AC son imprescindibles para los motores de corriente alterna y suelen

incorporar sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) del generador FV. Modulan la frecuencia de funcionamiento del motor para funcionar con niveles de potencia por debajo del máximo, disminuyendo el umbral de arranque y optimizando las horas de funcionamiento diario.

Los convertidores DC/DC acoplan el generador FV al motor DC, generalmente operan a tensiones constantes y optimizan el desempeño global del sistema. Cuando se trata de bombas de desplazamiento positivo, tienen la capacidad de aumentar el caudal diario de agua bombeada hasta un 30%.

Cuando se usan motores DC sin escobillas, se requiere un controlador de motor para la conmutación del motor, frecuentemente, esto implica seguir el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. El controlador puede ser parte integral del motor o existir como una unidad externa independiente a este.

El suministro de agua puede provenir de diversas fuentes, como lagos, ríos o pozos. En sistemas de bombeo por energía solar, extraer agua de pozos es más común. Estos pozos suelen ser de sondeo y alojan una motobomba sumergible equipada con sondas de nivel u otros aparatos similares que previenen el funcionamiento en seco, evitando posibles daños a la bomba. La disminución del nivel del agua, llamado abatimiento, debe analizarse cuidadosamente según el tipo de acuífero para dimensionar correctamente el sistema.

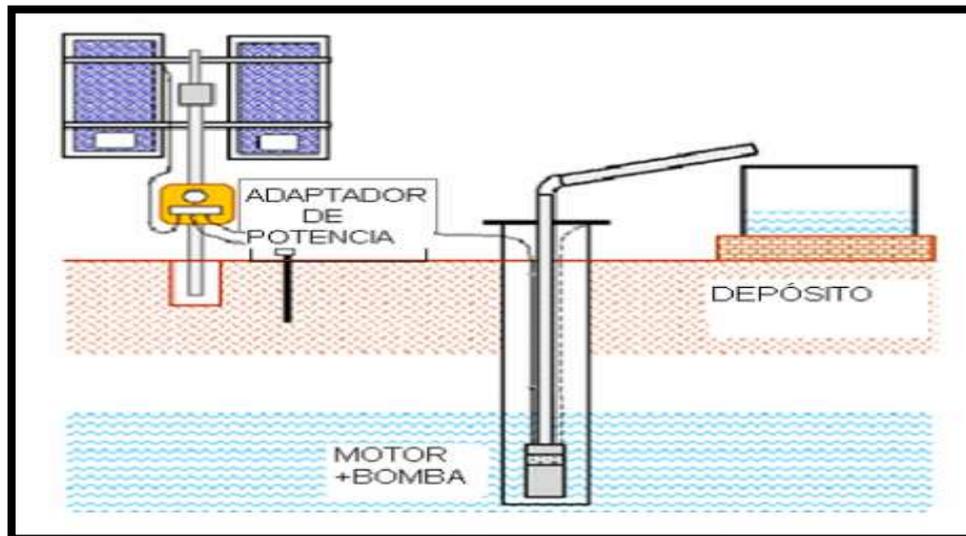
1.5.5. Configuraciones típicas de bombeo FV

La colaboración efectiva entre los componentes de un sistema de bombeo FV es fundamental para su diseño y un funcionamiento óptimo, optimizando así el rendimiento total del sistema. Existen múltiples soluciones disponibles para extraer mediante bombeo una cantidad específica de agua a una altura determinada, adaptándose a los distintos rangos de potencia necesarios. Estos rangos son el resultado de multiplicar la altura por el caudal, y se ajustan según

la aplicación específica. Aunque la existencia de bombas de superficie y flotantes, la disposición más extendida sigue siendo el uso de motobombas sumergibles ubicadas en pozos de sondeo.

Figura 4

Elementos de un sistema de bombeo FV



La disposición de un sistema de bombeo solar fotovoltaico se establece según el tipo de generador solar, la bomba, el motor y el método de acondicionamiento de potencia. Se identifican diferentes clases de sistemas de bombeo solar fotovoltaico:

a) Sistemas de pequeña potencia (50-400 Wp).

Principalmente, estos sistemas de bombeo fotovoltaico operan con un motor que utiliza corriente continua (DC) esta a su vez impulsa una bomba centrífuga o de desplazamiento positivo. Entre el generador fotovoltaico y el motor, se coloca un convertidor DC/DC para optimizar la conexión entre ambos sistemas y optimizar la eficiencia.

Estas aplicaciones suelen estar dentro del rango de bombeo diario de alrededor de 150 metros cúbicos por día. Esta configuración es común en sistemas de menor escala, donde se busca una operación eficiente y precisa para satisfacer las necesidades de agua dentro de este rango de

volumen diario. Los sistemas constan de componentes esenciales que incluyen:

- Generador Fotovoltaico
- Convertidor DC/DC (opcional)
- Motor de Corriente Continua DC
- Bomba
- Tanque de almacenamiento (opcional)

b) Sistemas de mediana potencia (400-1500 Wp).

Los sistemas que has mencionado están principalmente compuestos por una bomba centrífuga sumergible de varios estados. Estas bombas son accionadas por un motor de corriente alterna (AC) de inducción y son controladas mediante un inversor, se transforma la corriente alterna en corriente continua (AC/DC) con una frecuencia variable y un seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP).

Este tipo de sistemas son reconocidos por su gran confiabilidad y han sido ampliamente utilizados desde los primeros despliegues de bombeo fotovoltaico. En términos del volumen de agua bombeada diariamente, estos sistemas operan en un ciclo hidráulico que oscila entre los 150 y 1,500 metros cúbicos por día.

Los sistemas constan de componentes esenciales que incluyen:

- Generador Fotovoltaico
- Convertidor DC/AC
- Motor de Corriente Alterna AC
- Bomba
- Tanque de almacenamiento (opcional)

c) Con motor DC sin escobillas.

Un conjunto típico de estos sistemas consta de un motor de corriente continua (DC) sin escobillas, el cual impulsa una bomba helicoidal de desplazamiento positivo El sobresaliente

desempeño del motor de corriente continua (DC) sin escobillas, en contraste con los motores de corriente continua o de inducción AC, sumado al rendimiento superior de las bombas helicoidales frente a las centrífugas, desemboca en un sistema global de mayor eficiencia.

Aunque estas ventajas son notables, su llegada al mercado es relativamente reciente y aún deben validar su fiabilidad en operaciones continuas a largo plazo. También se espera que experimenten una disminución de costes a medida que se desarrolle más la tecnología y se produzcan a mayor escala.

d) Convertidores de frecuencia.

Estos sistemas de bombeo fotovoltaico innovadores se fundamentan en la utilización de convertidores de frecuencia (FC) estándar industriales. Sin embargo, cantidad de estos sistemas que han demostrado una alta confiabilidad y un buen rendimiento no es muy amplio. Muchos de estos sistemas tienen diseños especiales, como la utilización de motores trifásicos a 68V, lo que los hace más costosos en comparación con las soluciones de bombeo convencionales.

Adicionalmente, existe una restricción en la potencia disponible para estos sistemas. Actualmente, las capacidades más grandes no superan los 1600 vatios pico (Wp). A medida que aumenta la demanda de cantidades de agua, particularmente en aplicaciones de riego en el sector agrícola, se requiere un incremento en la potencia instalada de los sistemas, lo que presenta un desafío debido a estas restricciones en la capacidad de potencia disponible en los sistemas de bombeo FV basados en convertidores de frecuencia estándar.

Reemplazar los inversores especializados utilizados anteriormente en aplicaciones de bombeo fotovoltaico con convertidores de frecuencia de tipo industrial, combinados con bombas centrífugas sumergibles y motores de corriente alterna (AC) de inducción, se presenta como una solución viable, eficiente y rentable.

Las distintas configuraciones del acoplamiento de cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico (generador, motor, bomba) pueden variar según la tecnología disponible en el mercado y las especificaciones particulares de cada aplicación. Esto permite adaptar el sistema de manera

más flexible y precisa a las necesidades específicas de cada caso. Se instalan comúnmente cuatro configuraciones principales:

1. Motobomba sumergible, con motor DC o AC y bomba centrífuga multiestado. (el número de estados es función de la altura requerida).

2. Motobomba sumergible de desplazamiento positivo.

3. Motobomba flotante con motor DC y bomba centrífuga.

4. Unidades motor-bomba instaladas en la superficie. Las bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo.

En los sistemas de extracción de agua por bombeo que emplean motores de corriente alterna (AC), se utiliza un inversor para transformar la corriente continua (DC) producida por los paneles solares en corriente alterna (AC), la cual es la que alimenta el motor de la bomba centrífuga.

En cambio, las bombas centrífugas equipadas con motores de corriente continua (DC) tienen la capacidad de conectarse directamente al generador fotovoltaico, aprovechando la corriente continua producida por los paneles solares.

En contraste, las bombas de desplazamiento positivo que cuentan con motores de corriente continua (DC) generalmente se conectan al generador fotovoltaico a través de un convertidor DC/DC. Este convertidor se encarga de optimizar el acoplamiento entre el generador FV y la bomba de desplazamiento positivo para mejorar la eficiencia y adaptar la energía generada por los paneles solares a las necesidades específicas del sistema de bombeo.

Determinación del tamaño adecuado para un sistema de bombeo utilizando energía solar.

- El diseño de un sistema de bombeo solar está enfocado de varias maneras, variando en su complejidad, la cantidad de variables tomadas en cuenta y el nivel de optimización buscado para obtener los resultados. En términos generales, hay tres etapas que deben seguirse:
- Evaluación de energía hidráulica que se necesitaría.
- Evaluación del potencial solar disponible.
- Identificación y especificación de los dispositivos requeridos.

El enfoque de dimensionamiento presentado se fundamenta en los cálculos que consideran los niveles mensuales promedio de energía hidráulica necesaria y la radiación solar disponible basados en los promedios mensuales de la energía hidráulica requerida y la radiación solar disponible, junto con las especificaciones de la eficiencia máxima del sub sistema de la motobomba con la eficiencia energética diaria. Una vez determinados estos valores mensuales promedio, se realiza un análisis energético para cada mes con el fin de identificar aquel en el que la demanda de agua supera la energía del sol disponible. Se utiliza este mes como referencia clave para el tamaño del sistema. Los componentes se ajustan para cubrir la demanda durante este período crítico, garantizando un suministro de agua excedentario para lo que queda del año. Cuando se diseña un sistema de bombeo, es crucial tener en cuenta dos aspectos principales:

Seleccionar los componentes adecuados es esencial para garantizar un sistema con bajo mantenimiento, larga durabilidad y alta confiabilidad.

La correcta conexión de estos elementos demanda un amplio conocimiento y experiencia, dado que el funcionamiento final del sistema dependerá en gran medida de esto.

Para avanzar, consideremos que se ha llevado a cabo un estudio preliminar del pozo de donde se extraerá el agua. Algunos de los puntos a evaluar incluyen la confiabilidad del pozo, considerando tiempos de recuperación del agua, cambios en los niveles de agua debido a bombeo excesivo, estacionalidad de lluvias, y la calidad del agua, entre otros factores.

a) Determinación de necesidades hidráulicas.

Para comenzar, es crucial determinar el promedio diario mensual del volumen de agua requerido para cumplir con las necesidades de la aplicación. en la cartilla de información del cultivo de mango en el litoral atlántico de Colombia, el mango experimenta cuatro fases fenológicas, cada una de las cuales tiene un período de tiempo específico y requerimientos hídricos particulares. Estas demandas pueden variar e incluir:

- Tamaño de la zona de cultivos.

Para escoger el sistema apropiado, es esencial considerar el requerimiento hídrico detallado del mango por ciclo fenológico(años). Para el diseño del bombeo fotovoltaico se tiene que escoger los valores máximos como referencia, según la información proporcionada en la tabla 1, se detalla el requerimiento hídrico del mango por etapa. Para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico, se debe seleccionar la fase en la que la necesidad hídrica sea mayor. Dado que el terreno tiene un área de 10,000 m² (equivalente a 1 hectárea), la demanda hídrica diaria será de 30 m³/día

Tabla 1

Requerimiento Hídrico del Mango por ciclo

Etapas	Días	Necesidades Hídricas Litros/día
Fase 1: Primer año	360	2 a 5 l/día
Fase 2: Segundo año	360	10 a 15 l/día
Fase 3: Tercer año	360	20 a 25 l/día
Fase 4: Cuarto año	360	30 a 35 l/día

b) Requerimientos hidráulicos para la selección de la bomba.

De los datos anteriores, voy a obtener un flujo diario expresado en metros cúbicos al día, el cual al dividirlo entre 24 horas nos proporcionará el flujo promedio por hora (Qd). El caudal a suministrar de la bomba (Qb) lo obtendremos con la ecuación:

$$QB= Qd \times 1.8 \text{ (Ecuación 1)}$$

Este flujo será la cantidad mínima que la bomba deberá proveer, y se usará para seleccionar posteriormente a través de las tablas entregadas por el fabricante cuando calculada la potencia del motor asociado. Este valor es una aproximación para las demandas máximas en cada instalación, por lo que su cantidad es adaptable y flexible.

c) Determinación de la altura hidráulica para el trabajo de bombeo.

La altura hidráulica de bombeo representa la presión que la bomba debe superar. Para calcularla con precisión, es esencial considerar estos conceptos: la altura total (h y), que consiste

en la suma de la altura estática, la altura dinámica y el descenso del nivel del pozo.

$$h = H_e + H_g + S_i \quad (\text{expresión 2})$$

La altura estática o geométrica (H_g) es la medida geométrica desde el nivel del agua en el pozo hasta el punto más alto al que se debe elevar el agua. Resulta crucial considerar que el nivel del agua en el pozo disminuye durante el proceso de bombeo, llegando a una profundidad en la que el flujo de salida de agua del pozo se iguala al flujo de entrada.

La altitud dinámica (H_d) surge debido a la pérdida de presión cuando un líquido fluye por una tubería (fricción). Estas pérdidas de energía se relacionan con la longitud, el diámetro de la tubería y el coeficiente de fricción, el cual está influenciado por la rugosidad interna del tubo y las condiciones del flujo (si es de régimen laminar o turbulento).

La altura dinámica puede estimarse mediante la expresión:

$$H_d = 10,643 Q^{1,852} \times C^{-1,852} \times D^{-4,87} \times L \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

H_d = es la altura dinámica por pérdida de fricción interna en metros (m).

Q = es el caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

C = es el coeficiente "C" de Hazen-Williams.

d = es el diámetro interno de la tubería en metros (m)

L = es la longitud de la tubería en metros (m).

El coeficiente "C" de Hazen-William está vinculado netamente al material usado en la fabricación de la tubería; a mayor suavidad en su interior, el coeficiente será mayor (por ejemplo, el C para PVC = 150). En el caso de tuberías fundidas en hierro de una antigüedad de 40 años a más, el coeficiente "C" oscila entre 80 y 90. Para otros materiales, los valores de "C" pueden consultarse en la siguiente tabla:

Tabla 2

Material de la tubería y su coeficiente

MATERIAL DE LA TUBERIA	COEFICIENTE C(H-W)
Cloruro de Polivinilo (PVC)	150
Polietileno (PE)	140
Asbestos	140
Acero nuevo	120
Aluminio en uniones	120
Acero viejo (40 años)	85

Fuente: Propia

El estado de abatimiento ocurre cuando el nivel del agua en un pozo desciende por debajo de su nivel estático, cuando no se extrae ningún caudal (y no hay proceso de restauración), cuando se extrae un flujo Q, el nivel del agua desciende hasta alcanzar un punto específico. Se puede desarrollar una relación matemática que vincule el descenso del nivel del agua en un pozo, el caudal de bombeo y el tiempo transcurrido desde el comienzo de la extracción. A este vínculo se le conoce como la ecuación distintiva del pozo:

$$S_w = \frac{\ln t}{4\pi T_D} Q + K_{LW} Q + D_w Q^2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

Sw, descenso en el interior del pozo de bombeo.

Kfr es una constante que representa la suma de los coeficientes de las partes lineales constantes relacionadas con la disminución del nivel del agua. Estos coeficientes derivan de las características del acuífero inicial, los impactos de la zona de filtración, el revestimiento de grava y las pérdidas de presión en la pantalla y el revestimiento.

D w es una constante que engloba la suma de los coeficientes constantes de las partes

cuadráticas (turbulentas o no lineales) del descenso, generadas por los mismos impactos mencionados para Kw.

T, representa la transmisividad del acuífero.

t, es el tiempo de bombeo

Q, es el caudal

Una vez que se hayan establecido los requerimientos de volumen de agua para cada mes del año y la altura hidráulica total, es posible determinar la energía hidráulica diaria necesaria utilizando la fórmula:

$$E_H = \frac{k \cdot Q_d \cdot H_{TE}}{n_M} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

K=2,725

Qd =caudal requerido en m3/día

EH en Wh/día

HTE (m)= altura total equivalente, altura hídrica de bombeo, o carga dinámica total.

□m=rendimiento del conjunto motor-bomba

O si se prefiere:

EH = $\rho g V h$ (Ecuación 6)

EH = energía hidráulica (Julios)

V = Volumen de agua h = altura total (metros cúbicos)

ρ = densidad del agua (Kg/ m3)

g = aceleración de la gravedad (m/ s²)

d) Recurso solar.

La cantidad de energía generada por el panel solar está directamente ligada a la cantidad de radiación solar disponible. Esta radiación cambia según la ubicación, el día del año y los aspectos

del clima y la geografía particulares. Para dimensionar un sistema fotovoltaico usando este método, se requieren los datos promedio mensuales de radiación solar del sitio donde se llevará a cabo la instalación.

Determinar la orientación con el ángulo de inclinación adecuados es crucial para maximizar la cantidad de energía solar que llega a una superficie para su aprovechamiento óptimo. Esto se realiza buscando maximizar la proporción entre la energía solar captada y la energía hidráulica necesaria durante el transcurso de cada año. La orientación y el ángulo óptimos permiten aprovechar al máximo la radiación solar disponible para satisfacer la demanda energética hidráulica.

Para alcanzar este objetivo, es necesario calcular la radiación solar total recibida por una superficie con distintas inclinaciones y orientaciones hacia el sur. Este procedimiento implica el uso de datos de radiación solar total en una superficie plana y el cálculo de cómo esa radiación se distribuiría en diversas inclinaciones y orientaciones. Esto permite determinar cuál configuración maximiza la captación de energía solar para satisfacer las necesidades energéticas hidráulicas. Estos datos se obtienen a partir de las siguientes fuentes:

Ministerio de energía y minas (atlas solar)

SENAMI

Exactamente, al comparar la energía hidráulica requerida con la energía solar disponible en diferentes ángulos de inclinación para cada mes, se busca maximizar esta relación. Esto permite encontrar el ángulo de inclinación óptimo para el generador fotovoltaico, logrando así una configuración más eficiente que aproveche al máximo la energía solar disponible y reduzca la necesidad de energía hidráulica para el funcionamiento del sistema

Efectivamente, el mes de diseño y el ángulo óptimo de inclinación del generador fotovoltaico se determinan al identificar aquellos donde se alcanza el mayor cociente entre la energía hidráulica requerida y la energía solar disponible. Este enfoque permite establecer el momento y el ángulo más eficiente para la instalación, maximizando la relación entre estas dos variables clave. Al encontrar el máximo cociente entre la energía hidráulica requerida y la energía solar disponible, se identifica el mes crítico para el dimensionado y el ángulo de inclinación más eficiente del generador.

Es, por tanto, el mes crítico identificado es el más desafiante en términos de energía para cubrir la demanda de agua.

Podríamos eludir este último paso, dado que existen estudios locales disponibles que nos brindan la información necesaria sobre el mejor ángulo de inclinación en el área donde proyectamos ubicar nuestro sistema. Determinado este ángulo, podemos también acceder a información sobre el mes con menor promedio diario de radiación solar para llevar a cabo nuestros cálculos utilizando el mes menos favorable.

e) Generador

Inicialmente, se calcula el tamaño mínimo del generador suponiendo su operación en algunas condiciones promedio (25°C y 1000W/m²) y el punto óptimo de funcionamiento coincida con el de su óptima potencia a lo largo del día. Sin embargo, realmente, esto no es preciso y requerirá ajustes considerando diversas variables.

El poder óptimo de salida de un generador Fotovoltaico en CEM es:

$$p=A \cdot G_{CEM} \cdot \eta_g \quad (\text{ecuación 7})$$

Dónde:

A, área de paneles FV

G_{CEM}, 1 kW/m²

H_g, el rendimiento del generador a 25 °C.

El área de paneles necesaria para suministrar una energía E_e es:

$$A = \frac{E_e}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot \eta_g} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

G_{dm} (α, β), Irradiación media diaria del mes en el plano del generador (kWh/m/día)

H_g, Rendimiento medio diario del generador en las condiciones REALES de operación.

E_e, Es la energía eléctrica diaria necesaria expresada en kWh

El rendimiento medio diario del generador en las condiciones REALES de operación se halla con la expresión:

$$\eta_{fv} = F_m \cdot (1 - d(T_m - 25)) \cdot \eta_g \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

F_m el factor de acoplo medio: cociente entre la energía eléctrica generada y la que se generaría si se trabajase en el PMP. En sistemas con seguidor es $F_m=0,95$, para bombas centrífugas es $F_m=0,9$ y para otro tipo de bombas $F_m=0,8$.

El coeficiente de variación de la potencia con la temperatura de las células solares, representado por "d", oscila típicamente entre 0,004 y 0,005 1/°C en el caso de las células de silicio monocristalino

T_m = La temperatura mediana diaria de los módulos

La energía eléctrica se vinculará con la energía hidráulica a través del rendimiento promedio diario de la motobomba:

$$EMB = EH / \eta_{MB} \quad (\text{Ecuación 10})$$

El rendimiento medio diario, representado por η_{MB} , es un valor estimado derivado de la experiencia y depende del tipo de instalación específica. En la tabla siguiente se indican los valores de η_{MB} para tres casos distintos

Tabla N° 3

TIPO	VALOR PROMEDIO	MEJOR OPTIMO
Tipo Superficial con motor de Corriente Continua y Bomba Centrífuga	25%	30%
Tipo Superficial con motor de Corriente Continua y Bomba Centrífuga tipo multiestado	28%	40%
Del tipo de Motor de Corriente Alterna o Corriente Continua sumergible con Bomba Centrífuga	32%	42%
Motor de Corriente Continua superficial con bomba de desplazamiento positivo		

Al sustituir las ecuaciones anteriores en la siguiente fórmula, se calcula la fuerza óptima necesaria considerando la energía hidráulica, la radiación incidente y el rendimiento diario promedio del sistema motor-bomba.

$$P_p = \frac{E_h}{\eta_{mb}} \cdot \frac{G_{CEM}}{F_m (1 - \delta(T_c - T_{CRM})) \cdot G_{dm}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

P_p = Potencia Optima necesaria

E_h = energía hidráulica necesaria (Wh/día)

η_{mb} = Rendimiento del grupo motor-bomba

G_{cem} = Radiación promedio diario CEM 1000W/m²

F_m = Factor de acoplamiento promedio (0,9 para bombas centrífugas)

δ = coeficiente de variación de la fuerza con la temperatura

T_c = Temperatura promedio diaria de los paneles solares durante las horas de exposición al sol

T_{cem} = 25° C

G_{dm} =Radiación media diaria de un mes escogido (extremadamente desfavorable) en el ámbito del generador

Con base en esta potencia, podemos elegir los paneles solares fotovoltaicos y determinar su cantidad al consultar las tablas de especificaciones proporcionadas por los fabricantes.

La potencia máxima del generador elegido debe ser igual o superior a la potencia máxima necesaria para la instalación.

Después de seleccionar el motor, se puede configurar el sistema fotovoltaico, determinando el número de paneles en serie y en paralelo

Cantidad de módulos en serie = Voltaje óptimo del motor/ Voltaje óptimo de módulos.

N° módulos en paralelo = Potencia óptima del generador / (N° módulos en serie x Potencia óptima de un módulo).

Para calcular esto, es necesario tener las especificaciones del motor que se elegirá en la sección posterior.

f) Selección Motor-bomba.

El motor debe tener la capacidad de soportar la potencia máxima generada por el sistema fotovoltaico. Entonces, la potencia eléctrica de entrada requerida para el motor debe ser al menos igual a la potencia máxima calculada del generador fotovoltaico. (P_p , obtenida de la sección anterior).

La configuración del generador debe adaptarse a las restricciones de voltaje y corriente del motor, lo cual implica ajustar la cantidad de paneles solares conectados en serie y en paralelo. Se busca lograr una buena armonía entre ambos elementos para mejorar las relaciones de máxima potencia, asegurando así una optimización en su compatibilidad.

En varios modelos comerciales recientes, es relevante señalar que el motor suele estar preinstalado junto con la bomba directamente desde la fábrica. Por lo cual, se debe escoger un motor-bomba que satisfaga con el requerimiento mencionado anteriormente y que cumpla las necesidades de flujo anotadas en la sección 2.3.2 para el cálculo de una altura total específica (h dada).

g) Uso de baterías de acumulación.

Si deseamos proporcionar autonomía a los equipos instalados, en caso de falta de recurso solar, como en la utilización nocturna o en días nublados, o por el uso de varios otros equipos instalados al generador, podríamos incorporar un banco de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica. En ese sentido, teniendo claridad sobre el consumo propio del grupo motor-bomba y otros dispositivos (incluyendo sistemas de iluminación, toma de fuerza si fuera necesaria), es fundamental realizar el cálculo de la energía promedio consumida al día por todo el sistema.

Utilizando el promedio mensual de la cantidad de radiación recibida diariamente por el panel del generador y considerando una estimación aproximada del rendimiento energético del sistema,

podemos estimar la potencia mínima requerida del generador fotovoltaico mediante la siguiente expresión:

$$PR = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

GCEM= 1 kW/m² irradiación en condiciones estándar de medida

Pmp= Potencia pico del generador (kWp)

ED= Consumo expresado en kWh/día.

Gdm (a, b) = El valor promedio al mes de la radiación diaria sobre el panel del generador, expresado en kWh/ (m². día), se refiere a la cantidad media de energía solar recibida por cada unidad de área de un panel en un día durante un mes determinado. Esta cifra debe tener en cuenta las pérdidas por sombreado, que pueden reducir la eficiencia de captación de energía solar del sistema.

Un punto de partida común para el diseño de sistemas que involucran inversores y baterías es un valor de PR (rendimiento del panel solar) de 0,6, mientras que, para sistemas de bombeo directo sin batería, suele ser de 0,7.

El desempeño energético del sistema, a veces referido como "Performance Ratio" (PR), es una métrica que señala la eficacia del sistema en situaciones reales de operación a lo largo del periodo proyectado. Esta variable tiene en cuenta distintas pérdidas y las condiciones ambientales circundantes, como pérdidas por sombreado, suciedad en los paneles, variaciones de temperatura, entre otros, en comparación con la eficiencia teórica bajo condiciones ideales. Es una métrica clave para medir el rendimiento efectivo de la instalación fotovoltaica en su entorno operativo real.

El técnico tendrá la opción de seleccionar las dimensiones tanto del generador como de la batería el que depende de:

Requisitos que otorgan independencia a la Instalación.

Posibilidad de descarga necesaria.

Dentro de los márgenes establecidos en las Especificaciones Técnicas en España, la fuerza óptima del generador no excederá, en general, un 20 % por encima del valor $P_{mp, min}$.

Usualmente, la capacidad óptima de la batería no ha de sobrepasar 25 veces la corriente de cortocircuito en el punto máximo de potencia del generador solar.

La instalación deberá contar con una independencia mínima de 72 horas.

Considerando lo mencionado anteriormente, la elección de la batería de almacenamiento se determinará siguiendo la fórmula que se indica a continuación:

$$A = \frac{C_{20} PD_{max}}{LD} \eta_{inv} \eta_{rb} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

A = Autonomía del sistema en días

C20 = Capacidad del acumulador en Ah (*)

PDmax = Profundidad de descarga máxima

η_{inv} = Rendimiento energético del inversor

η_{rb} = Rendimiento energético del acumulador + regulador

LD = Consumo diario medio de la carga en Ah

h) Tuberías.

La determinación del diámetro de los tubos los realizamos considerando las pérdidas de carga o altura dinámica, detalladas al obtener la energía hidráulica necesaria. Se lleva a cabo considerando la longitud física de la tubería junto con la medida adicional conocida como la "longitud equivalente" de los componentes accesorios. Para alcanzar pérdidas aceptables con una longitud total determinada L (incluyen accesorios), se utilizan tablas o gráficos que muestran la relación entre las pérdidas de presión con respecto al flujo para cada tamaño de tubería, tomando en cuenta el material utilizado en su construcción.

Recomendamos que tanto el diámetro de la tubería como el de sus componentes adicionales

sean lo bastante amplios para que las pérdidas de energía hidráulica no superen el 10% de la altura total de bombeo, siendo óptimo si se mantienen por debajo del 2%.

i) Consideraciones en el montaje e instalación.

La mayor parte de los desafíos en sistemas de bombeo suelen originarse en el inversor, el controlador o incluso en la bomba misma. Garantizar una instalación adecuada, junto con una operación y mantenimiento correctos, ayudará a reducir estos problemas de manera significativa.

Al considerar la instalación de un sistema de bombeo con paneles solares, es de suma importancia cumplir con lo siguiente:

- Con la normativa y Reglamento Eléctrico nacional.
- Elaborar un plan de trabajo para el montaje, cerciorándose de contar con todo el suministro de materiales y las herramientas necesarias. Esto implica seguir una serie de pasos fundamentales:
- Verificar la capacidad de producción del pozo de agua.
- Realizar la obra civil necesaria, como cimientos, instalación de tuberías y establecimiento del tanque para almacenar el agua.
- Montar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema o verificar su funcionamiento en caso de sistemas ya instalados.
- Proporcionar al usuario una guía detallada para el uso, la operación y el mantenimiento de la Instalación, además de capacitarlo sobre el funcionamiento del mismo.

Los niveles de agua pueden experimentar variaciones estacionales o incluso en intervalos de horas, especialmente en zonas rocosas donde la altura de agua fluctúa considerablemente durante el proceso de bombeo.

Es de suma importancia que la bomba esté sumergida en el agua.

Para prevenir el funcionamiento en seco debido a variaciones en el nivel del agua, es crucial implementar medidas de precaución, como instalar sondas de nivel en el pozo. Además, es importante instalar una sonda de nivel en el pozo para prevenir el derrame del agua.

Para resguardar la entrada de la bomba de posibles contaminantes como suciedad o arena,

se utilizarán filtros apropiados para cada situación. Sin embargo, es importante tener en cuenta las pérdidas que podrían conllevar el uso de estos filtros al diseñar el sistema;

Así mismo es de una importancia instalar un Sistema de Protección en cual consta de Un Sistema de Pozo a Tierra de todo el sistema. Los sistemas de bombeo de agua, debido a la excelente tierra que ofrecen, podrían atraer descargas atmosféricas (rayos). Se debe conectar a tierra los marcos metálicos del generador fotovoltaico, así como todas las conexiones y equipos. No es recomendable emplear las tuberías como descarga a tierra, ya que esta conexión podría verse afectada durante trabajos de mantenimiento. Es recomendable el uso de varistores para la protección de los equipos y componentes contra descargas atmosféricas.

No usar tuberías excesivamente largas, ya que las pérdidas de succión podrían incrementar significativamente la altura total al momento de bombear y, por consiguiente, el tamaño necesario del generador fotovoltaico.

Se recomienda emplear tuberías de acero inoxidable o PVC adecuadas, capaces de resistir por lo menos la durabilidad del generador (más de 20 años), con diámetros apropiados para reducir al mínimo las pérdidas de presión. Es crucial evitar la formación de pares galvánicos que puedan corroer partes del sistema.

Es fundamental resguardar el equipamiento electrónico en tableros a la intemperie. El uso de conductores eléctricos utilizado en el montaje e instalación cumplirán con la Reglamente Nacional de Electricidad y su normativa vigente, garantizando así las pérdidas por caída de tensión.

Es crucial utilizar cables específicamente diseñados para bombas sumergibles, adecuados para esta función. Asimismo, la protección del pozo de entrada es fundamental para evitar el acumulo de suciedad, especialmente en plantas de bombeo de agua potable destinada para consumo humano.

El generador puede presentarse en dos estilos: uno estático y otro que sigue la trayectoria del sol. Las versiones estáticas son más asequibles y tienen una mayor longevidad. Sin embargo, los seguidores solares pueden aumentar la cantidad de energía bombeada en un rango del 30% al 40% durante los meses de verano

El uso de seguidores de la trayectoria del sol puede reducir el tamaño necesario del generador para absorber la misma cantidad de agua. Sin embargo, los sistemas son más complejos y se requiere de un mantenimiento más detallado.

La mayoría de las compañías que producen sistemas de bombeo de agua usando energía solar fotovoltaica suelen incluir dispositivos de acoplamiento de impedancia. Estos dispositivos posibilitan que el sistema funcione cerca del punto óptimo de potencia máxima al ajustar las propiedades eléctricas tanto del motor como del generador. Asimismo, ciertos modelos de bombas que demandan un alto torque inicial, como las bombas de desplazamiento positivo, necesitan dispositivos extra para proporcionar los impulsos de corriente requeridos al iniciar el funcionamiento.

En los sistemas de suministro de agua potable, es fundamental crear un diseño de saneamiento que prevenga la acumulación de agua estancada alrededor de los puntos de distribución. El cableado tendrá que estar seleccionado para evitar las pérdidas por caída de tensión, específicamente hablando en el cableado de baja tensión, donde inclusive pequeñas pérdidas pueden resultar en considerables pérdidas. Los conductores seleccionados deben tener la propiedad de resistir condiciones extremas como el calor, estar sumergidos y otros factores relevantes. Además, es importante que los cables utilizados para asegurar la bomba sean aislados para evitar la sulfatación y posterior corrosión.

Se debe poner énfasis en la implementación de medidas de seguridad efectivas en las instalaciones, tales como asegurarse de aterrizar los conductores, la estabilidad de las estructuras metálicas que sirven como soporte para el generador y los equipos. Es necesaria la instalación de interruptores para el apagado y encendido de los componentes, así como la instalación de sistema de protección como fusibles o interruptores en las conexiones que no estén conectadas a tierra.

Se emplearán conductores de sección adecuada según el cálculo para cada propósito específico.

En la instalación de bombas superficiales, es crucial considerar la altura máxima de succión, que generalmente es inferior a 8 metros. Se debe incorporar una válvula de pie para mantener la tubería de succión siempre llena en las bombas que no sean autocebantes. También es

recomendable la instalación de una válvula antirretorno en la tubería de salida de la bomba para prevenir golpes de ariete que podrían dañar el equipo.

La instalación de bombas sumergibles suele ser más compleja, a menudo requiriendo grúas para bombas muy pesadas. Por ello es recomendable la instalación de una camisa para mejorar el enfriamiento del motor de la bomba. Los soportes de la bomba deberían de ser capaz de sostener tanto el peso de la bomba como el peso de la tubería cuando esta esté con líquido. Se contará con un cable o cuerda como soporte principal y otro adicional como medida de seguridad.

El peso debe estar soportado por dicho sistema, en ningún caso deberá estar sujeta por la tubería ni por los conductores eléctricos. Además, que la bomba debe estar equipada con una válvula antirretorno.

II. MATERIALES Y METODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

El presente proyecto de investigación expone un enfoque cuantitativo y se centra en recopilar y sintetizar conocimientos existentes sobre paneles fotovoltaicos, radiación solar y demanda del uso del recurso hídrico. Esta aproximación se alinea con un enfoque científico-teórico, donde la investigación se basa en la recopilación, análisis y síntesis de información que ya existe sobre el tema en cuestión, en este caso, los paneles fotovoltaicos. Se utiliza datos existentes y medidas para comprobar la hipótesis y partir de esto se podrá sacar conclusiones.

El presente proyecto de investigación es del tipo no experimental, debido a los propósitos y al enfoque metodológico adoptado en la presente investigación, este se clasifica como una investigación aplicada, con un énfasis descriptivo y un diseño que integra trabajo de campo y análisis en entorno de gabinete.

2.2. Variables, Operacionalización

2.2.1. Variables

Variable Independiente

- Energía del Sol: Nivel de Radiación en la localidad de Olmos.
- Requerimiento del Agua: Nivel del Caudal para el bombeo de hasta 1 Hectárea de terreno de cultivo de mango.

Variable Dependiente

- Sistema de Bombeo de hasta 1Ha por Radiación Fotovoltaica.

Operacionalización

Tabla N° 4

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	SUBÍNDICES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOPIACION DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOPIACION DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE						
Energía del sol	Nivel de Radiación	Irradiación del lugar de emplazamiento	Wh/m ²	Estudio documentario	Guía de Análisis documentario	Atlas Solar
Requerimiento de agua	Caudal y volumen	Usos del agua	m ³	Catálogo	Guía de observación	Cálculo Matemático
DEPENDIENTE						
Sistema de Bombeo	Caudal de entrada	Caudal de salida	m ³ /h	Recopilación de información	Guía de observación	Cálculo Matemático
	Potencia requerida	Dimensionamiento del módulo fotovoltaico	Wp	Recopilación de información	Guía de observación	Calculo Matemático
	Energía requerida	Corriente suministrada por el panel	W-h	Estudio documentario	Manual de análisis documentario	Contador de energía solar

Fuente: Elaboración de mi autoría

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

En el presente estudio el muestreo y la población están conformados únicamente por la demanda de bombeo del recurso hídrico para Sembrío de Mango de hasta 1 Hectárea en el distrito de Olmos, Lambayeque.

2.4. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos, validación y confiabilidad

En la presente investigación se empleó como técnicas la siguiente metodología e instrumentos siguientes:

A. Metodología:

- Observación: Guías de Observación, análisis de datos.
- Guías de Información: Se utilizó plataformas virtuales como la Plataforma Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), para recopilar información acerca de la radiación solar en la zona.
- Análisis de documentos: Como fuente de información para determinar el caudal y el tipo de bomba a seleccionar, posterior a ello se usó el Programa Excel para la recopilación y ordenamiento de datos. Los resultados se muestran en las tablas.

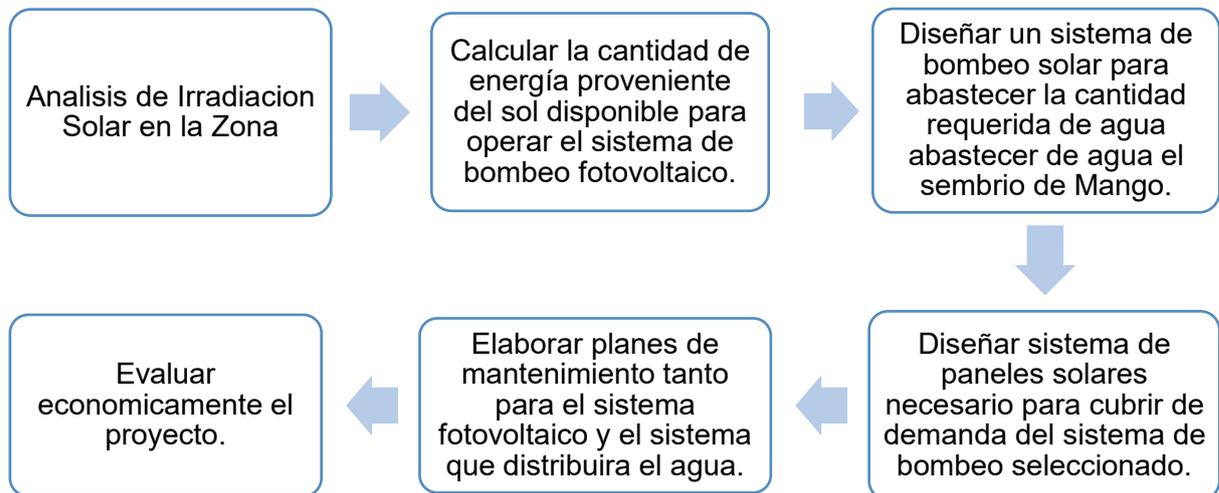
B. Instrumentos:

- Ficha para Recopilación de Datos.
- (PVGIS)
- Office "Excel" "Word"

2.5. Procedimiento para el análisis de datos

Figura 5

Diseño de flujos de procesos



2.6. Criterios éticos

El estudio fue fundamentado aplicando investigaciones previas similares durante el desarrollo. En consecuencia, se consideraron los siguientes principios:

Credibilidad: Se garantizó la autenticidad de los resultados, demostrando su veracidad.

Consistencia: Se aseguró que la investigación mantuviera su validez para estudios posteriores.

Aplicabilidad: Los datos recopilados se utilizarán como referencia para investigaciones futuras.

Confidencialidad: Se mantuvo la reserva de los resultados hasta su publicación oficial.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de Tablas y Figuras

3.1.1. Cálculos del Recurso Solar y Ubicación de la Zona de Investigación

- A continuación, se exponen cálculos y resultados de la presente investigación, partiendo de la zona donde se está realizando el estudio de sembrío hasta el diseño final del Sistema de Bombeo Fotovoltaico para sembrío de Mango de hasta 1 Hectárea, seguido de los costos que este proyecto implica.

Tabla 5

Ubicación y evaluación del recurso Solar del Proyecto

UBICACIÓN Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	
Departamento	Lambayeque
Provincia	Lambayeque
Distrito	Olmos
Coordenadas	5°59'18" (Latitud) 79°44'50" (Altitud)
Temp. Min Prom.	19.00 °C
Temp. Max Prom.	35.00 °C

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 5 nos muestra como información preliminar una ubicación de -5.98472005 (Latitud), con esta información podemos deducir el grado de Inclinación de los Paneles Fotovoltaicos, utilizando como medio de información la tabla 5, tenemos que $\beta=15$, en ese sentido se orientara los paneles fotovoltaicos hacia el Norte, en contraste de acuerdo a la recopilación de información obtenida de Plataforma Virtual se tiene una temperatura media de 22°C con una mínima de 19°C en los meses menos calurosos y una máxima de 35°C en los meses más calurosos

Para diseñar sistemas fotovoltaicos, es fundamental tener información sobre la cantidad de radiación solar que llega a una zona específica, es decir la irradiación en la zona. Hay varias formas de determinar la cantidad de radiación solar, y en la creación de este diseño utilizamos los datos proporcionados por la Plataforma Virtual PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

Tabla 6: Irradiación Solar y Horas Solar Pico en el distrito de Olmos con un Angulo de inclinación de 15°

Irradiación (KW/m2/mes)								
Mes/Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio	HSP
Enero	94.79	143.33	111.74	120.22	123.12	140.91	122.35	3.95
Febrero	96.41	136.01	135.02	139.71	144.23	119.27	128.44	4.43
Marzo	119.48	176.83	160.22	139.11	179.35	134.96	151.66	4.89
Abril	140.25	153.85	154.95	166.41	169.89	136.72	153.68	5.12
Mayo	171.07	167.37	140.68	146.59	117.85	120.25	143.97	4.64
Junio	174.53	147.01	126.94	175.25	137.31	116.89	146.32	4.88
Julio	192.97	158.26	143.1	201.13	190.52	145.5	171.91	5.55
Agosto	184.97	194.38	178.64	200.85	171.95	187.06	186.31	6.01
Setiembre	180.55	188.88	113.05	204.35	195.96	192.14	179.16	5.97
Octubre	180.07	182.95	175.52	192.51	184.7	183.47	183.20	5.91
Noviembre	178.07	180.58	172.73	186.95	175.45	147.53	173.55	5.79
Diciembre	155.49	141.06	160.69	168.11	168.64	142.79	156.13	5.04

Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (2024)

La tabla 6 ilustra el promedio de cantidad de luz solar disponible durante el día para su aprovechamiento, y generar la cantidad necesaria de energía que pueda ser aprovechada

al momento de instalar los paneles solares. A la tierra la radiación promedio que llega es de $1,000 \text{ W/m}^2$ y el número de Horas de Sol Pico es el equivalente a la insolación solar diaria en promedio. En el distrito de Olmos, a 15° (zona de desarrollo de estudio) donde se destaca que agosto es el mes con la mayor irradiación y el mayor número de horas de sol al año con 6.01HSP y enero como el mes con menor irradiación 3.95HSP, siendo la media anual de 5.18HSP, para este caso se usara como dato el mes menos favorable enero que recibe 3.95 kWh/m^2 . La irradiación, que representa la energía solar incidente, fue calculada a partir de un promedio de seis años utilizando datos satelitales de la plataforma PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

3.1.2. Determinación de la demanda Hídrica.

La instalación del sistema de bombeo solar está destinada a satisfacer la demanda de riego por goteo. Este método de riego implica el uso de un sistema de tuberías que asegura la distribución del agua de manera precisa en la zona radicular de la planta, proporcionando la cantidad necesaria de agua por goteo con el fin de optimizar las condiciones de crecimiento del cultivo. El agua es transportada a través de conductos cerrados desde el punto de captación hasta el área de siembra, donde se aplica mediante dispositivos llamados emisores o goteros. Para determinar la cantidad de agua que debe ser bombeada, es necesario tener en cuenta los siguientes datos preliminares:

- Área de Cultivo : 1Ha o $10,000\text{m}^2$
- Tipo de Sembrío : Mango

El requerimiento de recurso hídrico de un cultivo se refiere a la cantidad de agua necesaria para prevenir la deshidratación debido a la pérdida por evaporación y transpiración.

Cada tipo de cultivo tiene distintas demandas de agua diarias, en el caso específico de la presente investigación, el cultivo en consideración es el mango.

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de riego gota a gota, es un método de irrigación utilizado en las zonas secas pues reduce al mínimo la utilización de agua y abonos. El agua se introduce lentamente hacia las raíces de las plantas ya sea mojando la superficie del suelo o irrigando directamente la zona de influencia de las raíces por un sistema de cintas plásticas con orificio.

Las máximas necesidades hídricas del mango se requirieren a los 8 años de edad, cuando la planta alcanza la madurez y la plena producción, la cual se estima que requerirá entre 80 y 120 litros de agua por semana. Considerando una densidad de siembra de 666 plantas por hectárea al octavo año, el requerimiento de agua diario será de 30m³/día.

Usando la media anual de número de horas de sol pico (HSP) de 3.95 horas en un día, en la se requiere bombear un volumen de 30m³/día de agua. Por lo tanto, el caudal de bombeo necesario será de 7.60m³/h

3.1.3. Determinación de la Altura Total Equivalente

La altura total equivalente se calcula utilizando la ecuación a continuación, donde se suman las distancias desde el nivel de descenso del pozo hasta el tanque elevado.

$$H_{TE} = H_i + H_f$$

Donde:

H_{Te} : Altura total equivalente (m)

H_i : Altura de la Bomba (m)

H_f : Altura por pérdidas de fricción (m)

En el terreno de cultivo de 1Ha, situado el proyecto de la presente investigación, se cuenta con un pozo con un diámetro de 1,20 metro y una profundidad de 20 metros. La bomba sumergible estará a 16m de la cota del terreno, luego el tanque elevado tendrá una máxima elevación de 6m y en cuanto a las pérdidas por fricción en las tuberías y otros componentes

del sistema hidráulico (como valvular, codos, etc.), según IDAE (2009), serán menores al 10% de la energía hidráulica útil. Entonces la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$H_{TE} = 16 + 4 + 0.1 * (16 + 6)$$

$$H_{TE} = 27.6m$$

3.1.4. cálculo de la Energía Hidráulica (E_H)

La energía Hidráulica se representa mediante la siguiente ecuación:

$$E_H = 2,725 \times H_{TE} \times Q$$

Entonces reemplazando valores tenemos

$$E_H = 2,725 \times 27.6(m) \times 30\left(\frac{m^3}{dia}\right)$$

$$E_H = 2256.3\left(\frac{wh}{dia}\right)$$

Para calcular la potencia hidráulica (PH), se divide la energía hidráulica (EH) entre las horas diarias de funcionamiento de la bomba sumergible. En este caso, el funcionamiento de la bomba sumergible está condicionado por la radiación solar disponible y las horas de sol pico, que para este caso equivaldrían a 5,18 horas diarias, y se define mediante la siguiente ecuación.

$$P_H = \frac{E_H}{t}$$

$$P_H = 571.22 W$$

3.1.5. Cálculo de la Potencia Eléctrica de la Bomba Sumergible

De acuerdo con la ficha técnica del fabricante, se puede emplear un rendimiento máximo de $\eta_{MB} = 0,65$. La potencia eléctrica de la motobomba se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$P_{MB} = \frac{P_H}{\eta_{MB}}$$

$$P_{MB} = \frac{571.22 W}{0.65}$$

$$P_{MB} = 795.72 W$$

3.1.6. Cálculo de la Energía necesario para el dimensionamiento del Generador

La potencia máxima diaria que deben suministrar los paneles solares para garantizar el funcionamiento adecuado de la motobomba se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$E_{MB} = E_{POT.MAX.DIARIA} = \frac{E_H}{\eta_{MB}}$$

$$E_{MB} = E_{POT.MAX.DIARIA} = \frac{2256.3 \left(\frac{Wh}{dia}\right)}{0.65}$$

$$E_{MB} = E_{POT.MAX.DIARIA} = 3471.24 \text{ wh/dia}$$

3.1.7. Calculo y Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico de Bombeo para 1Ha

Cálculo de Potencia del Generador

En la siguiente ecuación se podrá calcular la potencia total del generador fotovoltaico proyectado en la presente investigación

$$P_g = f \cdot s \frac{E_{Pot.max.diaria}}{0,9 \times HSP \times KT}$$

El factor de seguridad ideal requerido para prevenir el sobrecalentamiento seria del 20%. Según los estándares proporcionados por el IDAE, para sistemas de bombeo de agua que emplean un inversor, el factor de seguridad es de 0.7, mientras que para aquellos que utilizan un inversor junto con baterías, el factor es de 0.6. Sin embargo, dado que la bomba sumergible opera con un motor alimentado por corriente continua, el factor de seguridad es de 1.

$$P_g = 1,2 \frac{3471.24 \text{ Wh/dia}}{0,9 \times 3.95 \times 1}$$

$$P_g = 1171.73 \text{ W}$$

Tabla 7. Valores de referencia para la tensión del sistema dependiendo de la potencia.

POTENCIA	TENSION NOMINAL
P < 800 Wp	12V
800 < P >1600	24V

Fuente. Mejía (2018)

3.1.8. Cálculo del Caudal Pico soportable por la Bomba.

La máxima eficiencia del subsistema motobomba se sitúa en un 65%, y este valor se determina mediante la ecuación.

$$Q_p = \frac{P_g \times \eta_{MB}}{g \times H_{TE}}$$

$$Q_p = \frac{1171.73 \times 0,65}{9,81 \times 27.6}$$

$$Q_p = 2,81 \text{ l/s}$$

Entonces, la bomba debe tener la capacidad de manejar un caudal máximo de 2.81 l/s, lo que equivale a un caudal pico de 10.12m³/h o su equivalente a 160l/m

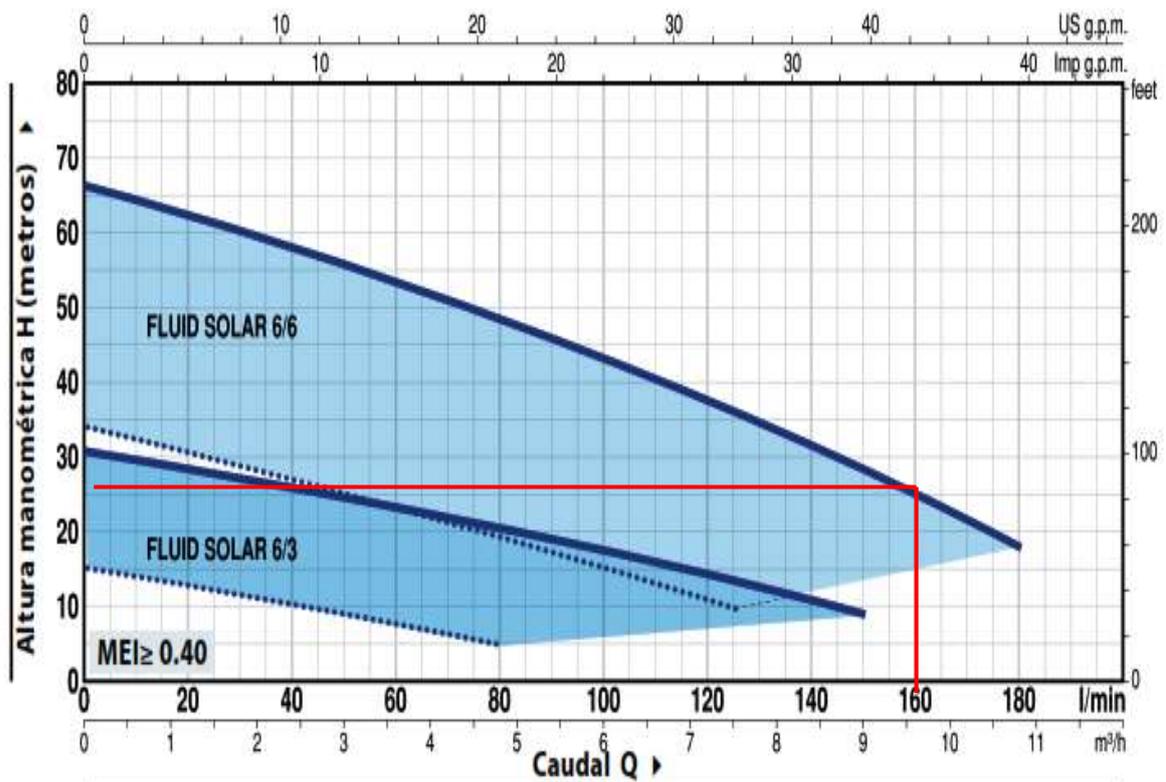
Con los datos obtenidos sobre la potencia de generación, la altura máxima y el caudal pico procedemos con la selección de varias fichas técnicas de diferentes fabricantes. Después de comparar, se optó por la Electrobomba solar sumergida de 4" de alta eficiencia Fluid Solar 6/6 de 1.5kW marca Pedrollo, caudal máximo de 160l/min y una altura de 26m, voltaje nominal de 30 V, ya que sus valores se acercaban más al diseño requerido.

Figura 6. Ficha Técnica de Bomba

POTENCIA ABSORBIDA P₁ 1500 W		Prestaciones con n° 8 módulos fotovoltaicos con potencia nominal total de 1960 Wp									
Q	m ³ /h	0	0.3	1.8	3.6	5.4	7.2	7.5	9.0	10.8	
	l/min	0	5	30	60	90	120	125	150	180	
H	metros	66	65	60	53	46	37	36	28	18	
		34	33	29	23	17	11	10			

La electrobomba elegida tiene una capacidad de 1.5 kW, con un flujo máximo de 160l/min y una altura máxima de bombeo de hasta 26 metros. En la figura 9 se representan las curvas características de la electrobomba y su correspondiente indicación en función de su potencia. Se puede concluir que con una potencia de 1.5 kW se puede bombear un caudal de 160 litros por minuto, el cual es el requerido según los cálculos de flujo volumétrico deseado de 160l/min

Figura 7 Curva para Calculo de Nivel



3.1.9. Cálculo de Cantidad de Paneles

Para determinar el cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos, es necesario contar con la ficha técnica del panel que se utilizará. En este caso, se empleará el Panel Solar 200W 12V Policristalino marca Waaree, que presenta las siguientes especificaciones:

Tabla 8. Especificaciones Obtenidas para la selección de los paneles solares

Panel Solar 200W Policristalino	
Potencia Máxima P_{max}	200W
Voltaje Nominal V_{nom}	44.53 V
Voltaje de máxima potencia, V_{mpp}	36.1V
Corriente de Maxima Potencia I_{mpp}	5.55 A
Tolerancia	0-+3%
Coeficiente de Temperatura CT_{mpp}	-0.41%/°C
Coeficiente de Temperatura CT_{voc}	-0.31%/°C
Coeficiente de Temperatura CT_{isc}	+0.06%/°C

Con la ecuación siguiente se calcula el número de paneles solares

$$NP = \frac{P_g}{P_{pfv}}$$

$$NP = \frac{1171.73 W}{200 W}$$

$$NP = 5.85 = 6 \text{ paneles}$$

Para determinar la cantidad de paneles en serie, se calcula:

$$NP_{p.serie} = \frac{V_{n.segen}}{V_{n.p}}$$

Reemplazando tenemos:

$$NP_{p.serie} = \frac{30}{12}$$

$$NP_{p.serie} = 2.5$$

Como ya determinamos el voltaje nominal de 30V y el del Panel de 12V, como resultante obtenemos 3 paneles en serie, entonces determinamos el número de paneles en paralelo mediante la ecuación:

$$NP_{p.paralelo} = \frac{NP}{NP_{serie}}$$

$$NP_{p.paralelo} = \frac{5.98}{2.5}$$

$$NP_{p.paralelo} = 2.392$$

Donde $N_{p. paralelo}$ es la cantidad de paneles en paralelo NP , es la cantidad de paneles en total y $N_{p.serie}$ es la cantidad de paneles en serie. Dando como resultado 2.32 paneles el equivalente a 2 paneles en paralelo.

3.1.10. Almacenamiento de Agua

El almacenamiento de agua en un tanque elevado es considerablemente más económico que almacenar energía en baterías. Solo se justifica el almacenamiento en baterías cuando es necesario regar durante la noche y el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol no es suficiente para satisfacer las necesidades de agua. Sandia National Laboratories (2000) y otros autores.

$$V_{alm} = Q \times D_{aut}$$

$$V_{alm} = 30,000 \text{ l/dia}$$

3.1.11. Conductores

Los conductores se seleccionarán de la siguiente manera:

Con el propósito de evitar la disminución de voltaje y el riesgo de sobrecalentamiento en la sección de los cables conductores, es fundamental que los cables cumplan con los valores establecidos de caída de tensión permisible, de acuerdo con las normativas establecidas para cada contexto laboral en particular:

- Máxima Caída de tensión entre generador y regulador 3%
- Máxima Caída de tensión entre inversor y batería 1%
- Máxima Caída de tensión entre regulador e inversor 1%
- Máxima Caída de tensión entre regulador y batería 1%
- Máxima Caída de tensión entre inversor/regulador y cargas 3%

La fórmula empleada para calcular la sección de los cables en corriente continua y corriente alterna monofásica en conductores de cobre es la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I_{sc}}{56 * \Delta V}$$

L: Longitud en metros (m).

S: Sección de los conductores.

I_{sc}: Intensidad (A), 6.55 (para sistemas Fotovoltaicos)

AV. Máxima caída de tensión admisible (V)

h rb: Rendimiento energético del acumulador + regulador.

Tabla 9

Características técnicas de los equipos fotovoltaicos

	ΔV	V	L	I	S	S
	(V)	(m)	(Amp)	(mm ²)	real	(mm ²)
Generador-Regulador	3%	0.36	8	9.25	7.341	8
Regulador - Batería	1%	0.12	3	9.25	8.259	9
Batería - Inversor	1%	0.12	3	9.25	8.259	9
Consumo en C.A.	3%	6.6	25	25	3.382	4

Los conductores serán seleccionados de acuerdo con el calibre calculado. En este escenario, al tratarse de un sistema de bombeo fotovoltaico destinado para uso agrícola, se empleará el cable THW90 libre de Halógeno, el cual al producir calentamiento no genera emisión de gases y puede ser instalado tanto en exteriores como enterrado. Se empleará un cable específico denominado "cable forrado para bombas sumergibles" para establecer la conexión entre la batería y la bomba.

3.1.12. Resto de accesorios

Los componentes enumerados a continuación son fundamentales para dotar de funcionalidad al prototipo. Los instrumentos de medición utilizados para recopilar datos y evaluar el desempeño del prototipo son especialmente destacados.

3.1.13. Tuberías

Los criterios esenciales para elegir un tipo de tubería incluyen:

- Costo
- Presión
- Temperatura
- Corrosión

Se han escogido tuberías de PVC para el proyecto debido a su disponibilidad global a precios accesibles, lo que concuerda con la orientación de nuestro proyecto hacia la selección de tecnologías adecuadas. Sin embargo, es crucial considerar que este tipo de tubería deberá resistir altas temperaturas.

El conjunto motor-bomba seleccionado tiene un espacio cilíndrico de 40 mm de diámetro en su parte superior, que es la sección de tubería necesaria para conectarse a la bomba. También, es importante considerar que las alturas de presión simuladas en nuestro sistema pueden causar incrementos en la presión dentro de las tuberías, algo que debemos tener presente.

La bomba tiene una capacidad máxima de generar una presión de hasta 15 Bar, por lo que es necesario seleccionar una tubería de PVC que pueda soportar al menos esa presión. El espesor de las paredes de una tubería en una sección específica determina su capacidad para soportar la presión.

3.1.14. Manómetro

Utilizaremos un manómetro de Bourdon para medir la presión. Este tipo de manómetro es simple y fácil de leer. Su tarea será proporcionarnos la presión antes de la válvula estranguladora, imitando las pérdidas de presión en nuestra simulación del sondeo ficticio.

3.1.15. Manómetro de Bourdon

El principio de medición del manómetro de Bourdon se basa en el uso de un sensor llamado como tubo Bourdon. El método de medición emplea un tubo de material de bronce o acero aplanado y sellado en una configuración en forma de "C" con aproximadamente $\frac{3}{4}$ de circunferencia para medir presiones bajas, o enrollado en espiral para medir presiones más altas. Este tubo tiende a ponerse recto en proporción al aumento de la presión aplicada sobre él. Esta acción se comunica a través de un mecanismo transmisor y multiplicador

que desplaza la aguja indicadora a lo largo de una escala graduada. La forma, material y grosor de las paredes del tubo Bourdon varían dependiendo de la presión que se pretenda medir.

3.1.16. Válvula estranguladora

Como se mencionó previamente, la función de la válvula estranguladora es restringir el flujo de agua para simular variadas pérdidas de presión que reflejen diferentes alturas de columna de líquido

La válvula elegida es metálica y del tipo compuerta, con accesorios incluidos para conectarse a la tubería de nuestra instalación. Al ser accionada, esta válvula se abre al levantar una compuerta o cuchilla, lo que posibilita el flujo del fluido a través de ella.

La característica única de una válvula de compuerta es su sello hermético, logrado por el asentamiento del disco en 2 áreas dispuestas en los bordes de sus 2 caras de dicho disco. Estas caras del disco llegan a tener una forma rectangular o estar alineadas de manera paralela. Por lo general, las válvulas de compuerta no se emplean para regular el flujo, pero en nuestra situación específica, se utilizarán para ajustar o reducir el flujo según sea necesario.

Ventajas:

- Cierra de forma completamente hermética.
- Tiene un costo bajo.
- Tiene una alta capacidad de funcionamiento.
- Su diseño y operación son simples.
- Ofrece poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Hay fallos en la capacidad de controlar el flujo con esta válvula.
- Se necesita gran poder de operación.
- Experimenta cavitación debido a una disminución leve en la presión.
- Tiene que estar completamente cerrada o cubierta.
- La posición de estrangulación provoca desgaste en el asiento y el disco

3.1.17. Contador de agua

Para realizar diversos experimentos, es crucial determinar la cantidad de agua que nuestra instalación FV bombea, lo que nos permitirá entender su funcionamiento. Para este propósito, hemos instalado un medidor de agua doméstico específico conocido como "Corro múltiple". Este dispositivo de medición utiliza una esfera humedecida que cuenta con rodillos protegidos, incorporando un mecanismo que compensa la presión entre su interior y exterior. Su funcionamiento se basa en una transmisión mecánica desde la turbina hasta la relojería. Además, está clasificado como clase B o, en su versión más rigurosa, como clase C, lo que garantiza una alta precisión, siendo capaz incluso de detectar pequeñas fugas de agua.

3.1.18. Plan de Mantenimiento para la Instalación de Bombeo Fotovoltaico

Para garantizar una mayor durabilidad en el sistema y optimizar la rentabilidad de la inversión, es fundamental implementar buenas prácticas de operación y mantenimiento. Para el diseño de Un sistema de extracción de agua(bombeo) mediante un sistema fotovoltaico bien planificado y correctamente instalado resulta seguro, fiable y necesita poco mantenimiento. El operador debe comprender el funcionamiento del sistema, llevar a cabo las tareas de mantenimiento regulares y apagar el sistema cuando sea necesario. Los sistemas fotovoltaicos de bombeo son fáciles de manejar y mantener siempre que sean

diseñados e instalados correctamente. Es importante que el sistema inicie y detenga su funcionamiento según la demanda y la disponibilidad del agua, así como la energía solar disponible. El plan de mantenimiento se elabora para prolongar la vida útil del sistema y minimizar los costos asociados. Cada tipo de sistema tiene requisitos específicos de mantenimiento, pero en general incluyen lo siguiente:

Mantenimiento de Rutina

Esto incluye operaciones tales como inspección visual, verificación de componentes, entre otras, con el fin de mantener las condiciones óptimas de funcionamiento, rendimiento, protección y durabilidad de la instalación. Durante la inspección visual, se pueden identificar anomalías como ruidos o vibraciones inusuales, corrosión, presencia de insectos, componentes o conexiones eléctricas sueltas, fugas de agua, crecimiento de algas, entre otros. La mayoría de estos problemas pueden corregirse a tiempo para evitar que se conviertan en problemas mayores que podrían dejar fuera de servicio el equipo a largo plazo.

Mantenimiento Preventivo incluye las siguientes actividades:

Paneles fotovoltaicos

El mantenimiento elemental de un panel solar fotovoltaico involucra seguir estos procedimientos:

Limpieza periódica del panel frontal de vidrio. Se recomienda hacerlo en función del nivel de suciedad ambiental, y es recomendable hacerlo en las primeras horas de la mañana o programar trabajos nocturnos, ya que en ese momento se encontrarán con temperatura baja, se recomienda la limpieza cada 3 meses, previo análisis visual, este se debe realizar con abundante agua y paños suaves, si es necesario se deberá utilizar detergente no abrasivo.

Verificación mensual para asegurarse de que todo esté en perfecto estado, que el conexionado esté en su lugar y que los cables estén en buen estado. Ante cualquier anomalía, se debe llamar a personal idóneo para el trabajo y capacitado.

Inspección mensual de los soportes para confirmar que esté en buen estado.

Si hubiera presencia de árboles cerca de los paneles, se debe podar periódicamente aquellos que puedan proyectar sombra sobre el panel solar fotovoltaico.

No utilice objetos cortantes o punzantes para limpiar la suciedad de la cubierta del panel solar, ya que podría causarle daños.

Equipo de Bombeo

Durante la inspección, se observa el funcionamiento normal de la bomba y se verifica la temperatura de los rodamientos tanto en la bomba como en el motor. Se realiza un análisis de vibraciones en cada punto de apoyo de los elementos en rotación, lo que proporciona información sobre el estado de los rodamientos, el alineamiento del eje y cualquier desbalance en el impulsor debido a desgastes internos o posibles torceduras en el eje de la bomba. Además, se monitorea el rendimiento de la bomba en relación con la curva de rendimiento y caballaje, y se detectan posibles fugas. Para esto, la bomba se saca de servicio durante media hora, se drena y se realiza una medición con un equipo de ultrasonido, lo que permite reanudar la operación de manera inmediata.

Basándose en el análisis de las revisiones realizadas, se decide, si es necesario, programar una reparación del equipo, que podría implicar el reemplazo de las partes que el análisis haya identificado como defectuosas. Es importante destacar que la bomba no debe desmontarse por completo para su reparación, y se debe tener extremo cuidado durante el desmontaje. Se requiere especial atención al examinar y ajustar las piezas. Es fundamental limpiar a fondo los conductos de agua de la carcasa y aplicar un nuevo revestimiento. En caso de iniciar una revisión completa, se deben contar con juntas nuevas

disponibles. Se debe investigar la erosión, corrosión y los efectos de cavitación en los impulsores. Antes de montar los nuevos anillos de desgaste en los impulsores, se debe verificar su concentricidad. Es esencial revisar todas las partes montadas en el rotor y mantener un registro detallado de todas las inspecciones y reparaciones realizadas.

Mantenimiento al inversor o convertidor CD/CA

Asegúrese de mantener la zona donde se encuentra el inversor limpia, seca y con una buena circulación de aire. Asegúrese también de proteger el inversor de la exposición directa a la luz solar. Realice una revisión para confirmar su funcionamiento correcto y para detectar cualquier ruido inusual que pueda provenir de si detecta algún fallo en el funcionamiento o alguna anomalía, es recomendable contactar al personal especializado.

Mantenimiento de equipamiento consumidor y conductores

El cuidado de aparatos electrónicos como radios, televisores, neveras y computadoras se asemeja al mantenimiento realizado cuando están funcionando conectados a la red eléctrica nacional.

Para el caso de los refrigeradores, es recomendable ubicarlos en áreas bien ventiladas para asegurar un funcionamiento eficiente. No se debe cambiar su ubicación sin consultar a un especialista.

Es importante revisar y asegurar que todas las conexiones y empalmes estén firmemente ajustados para prevenir conexiones defectuosas, y protegerlos mediante cinta aislante. Además, es recomendable realizar limpiezas regulares en el tubo fluorescente y, en caso de tenerlas, en las cubiertas protectoras de las lámparas para asegurar un nivel de iluminación óptimo.

¡Para tener en cuenta!

Si algún componente del sistema instalado no opera correctamente y no se encuentra arreglo en el manual básico, es crucial contactar de inmediato al personal especializado.

Evite recurrir a personas no autorizadas o intentar resolver el problema por cuenta propia. Esta medida ayuda a prevenir daños en el equipamiento y accidentes laborales.

Recomendaciones y consejos útiles

Durante fuertes tormentas eléctricas o ciclones, es recomendable desconectar los electrodomésticos para prevenir posibles daños causados por descargas atmosféricas.

Evite conectar equipos eléctricos o electrodomésticos que no fueron parte del diseño inicial del sistema sin preguntar a especialistas, porque su conexión podría causar sobrecargas por un consumo en exceso, lo que resultaría un mal funcionamiento.

Prevenga la conexión de otros usuarios a su red eléctrica, evitando hacer conexiones improvisadas o tender redes eléctricas adicionales.

Evite conectar equipos cuya potencia supere la capacidad del inversor CD/CA, ya que esto podría sobrecargarlo y causar daños.

Guarde el agua destilada en recipientes de plástico o vidrio. Al momento de incorporar agua destilada a la batería de almacenamiento, asegúrese de usar un embudo hecho de plástico o vidrio, evitando en todo momento el uso de recipientes metálicos.

Durante los días de lluvia, es posible recolectar agua destilada. Después de que la lluvia haya empezado, espere de 10 a 15 minutos y ubique un contenedor abierto, preferiblemente de plástico o cristal, en un entorno al aire libre. Es importante evitar capturar agua de techos, canaletas u otros lugares que puedan contaminarla.

Evita emplear líquidos distintos al agua destilada para rellenar la batería, como el agua del río o hervida, ya que su uso puede afectar la durabilidad de la batería de acumulación.

Revise periódicamente los indicadores luminosos del controlador de carga y si detecta que alguno no se enciende, comuníquese de inmediato con profesionales especializados.

En caso de que una lámpara no encienda y el tubo fluorescente esté en buen estado, verifique tanto el fusible (si está presente) como el interruptor. Si uno de ellos está en mal estado, cámbielo por uno nuevo para solucionar el problema.

Mantén en mente que, en sistemas fotovoltaicos, donde la energía es limitada, es crucial maximizar el ahorro. Evita mantener luces o dispositivos encendidos si no son necesarios para conservar la energía disponible.

3.1.19. Presupuesto

Tabla 10: Presupuesto General

ITEM	DESCRIPCION	Unidad	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
I SUMINISTRO DE MATERIALES					
1.00	Sistema de Bombeo Fotovoltaico				
1.01	Electrobomba solar sumergida de 4" de alta eficiencia Fluid Solar 6/6 de 1.5kW marca Pedrollo	Und	1.00	1,200.00	1,200.00
1.02	Modulo Fotovoltaico 200w, 12v,	Un	6.00	480.00	480.00
1.03	Inversor Sinodal 1800W, 12V	Un	1.00	1,200.00	1,200.00
1.04	Regulador de carga 40A, 12/54V	Un	1.00	400.00	400.00
1.04	Estructura metálica elevada 2x3 Paneles	Glb	1.00	650.00	650.00
1.05	Cisterna para Agua Rotoplast 2800Lts	Un	10.00	800.00	8,000.00
1.06	Manguera de polietileno 2"	Un	30	2.20	66.00
Sub total 1.00					11,996.00
2.00	Sistema Eléctrico				
2.01	Cable THW N°90	M	100.00	3.20	320.00
2.02	Tubo PVC SAP	Un	10.00	1.60	160.00
2.03	Curva PVC SAP	Un	10.00	0.80	80.00
2.04	Cinta Aislante 3M	Un	2.00	25.00	50.00
Sub total 2.00					610.00
3.00	Sistema de Protección (Puesta a Tierra)				
3.01	Varilla de acero recubierto Cooperweld 16mm x 2,40m.	Un	1.00	65.00	65.00
3.02	Caja de registro de Concreto para Inspección.	Un	1.00	45.00	45.00
3.03	Conector de cobre tipo AB	Un	1.00	8.00	8.00
3.04	Tubo de PVC 20mm x 3.20m	Un	1.00	6.00	6.00
3.05	Bentonita sódica x saco de 30Kg	Saco	1.00	25.00	25.00
Sub total 3.00					149.00
A.-	Suministro de Materiales y Equipos				12,755.00
B.-	Montaje Electromecánico				5,102.00
C.-	Transporte (15% del Suministro materiales)				1,913.25
D.-	Costo Directo				19,770.25
E.-	Gastos Generales (8%)				1,581.62
F.-	Utilidades (4%)				790.81
F.-	Sub Total				22,142.68
G.-	IGV (18%)				3,985.68
TOTAL (S/.)					26,128.36

Fuente: Elaboración propia

Presentación de Resultados

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido a través del estudio de la Electrobomba solar sumergida de 4" de alta eficiencia Fluid Solar 6/6 de 1.5kW marca Pedrollo, trifásica con una potencia de 1.5kW, caudal máximo de 160l/min y una altura de 26m, voltaje nominal de 30 V, ya que sus valores se acercaban más al diseño requerido de 160l/m

Tabla 11: Especificaciones de la Bomba

Modelo de la Bomba	Caudal requerido (l/min)	Altura total	Potencia Nominal	Voltaje Nominal
Bomba Marca Pedrollo Modelo CP 0.25-2.2kW	160	26	1.5	380

En líneas anteriores se describieron las curvas características de la electrobomba junto con su señalización correspondiente según la potencia, lo que reveló que con una potencia de 1.1 kW se puede bombear un flujo de 110 l/min, una cantidad muy cercana al caudal de diseño requerido de 108 l/min. Además, debido al elevado flujo volumétrico necesario, se opta por utilizar una bomba trifásica de 380 V

A continuación, presento los resultados obtenidos para el Sistema Fotovoltaico

Tabla 12: Componentes Panel Fotovoltaico

Especificaciones técnicas de Diseño	Voltaje Nominal (V)	N° de Paneles		
		serie	Paralelo	total
Panel Fotovoltaico Policristalino de 200W, Voltaje Nominal 12V, 18.41VMP, 22.41V (VOC), 5.43A – 5.55A	30	3	2	6

A continuación, presento los resultados obtenidos para el regulador

Tabla 13: Componentes Regulador de Carga

Especificaciones técnicas de Diseño	Corriente de Motor Max (A)	Cantidad de reguladores
Regulador de carga 40A, 12/54V	12A	1

A continuación, presento los resultados obtenidos para el tanque de almacenamiento

Tabla 14: Componentes tanque de Almacenamiento

Especificaciones técnicas de Diseño	Capacidad Max (l)	Cantidad de tanques
Tanque de Polietileno, marca Rotoplast, capacidad 2800lts, Alt. 1,78m, diam 1,56m	2800	10

3.2. Discusión

Este estudio de investigación se enfoca en el distrito de Olmos provincia de Lambayeque, departamento de La Lambayeque específicamente en la actividad agrícola del sembrío de mango, actividad bastante requerida en dicha localidad. Actualmente existe alrededor de 10,000 hectáreas de terreno de cultivo, la mayoría de las cuales se riegan mediante dos canales de regadío. Sin embargo, aún existen zonas de cultivo que no tienen acceso a la red de canales, y el recurso hídrico también es escaso, por lo que todas estas áreas dependen de motobombas que funcionan con combustibles fósiles para satisfacer las necesidades de riego de sus cultivos. En dicha zona ya se encuentran instalados diversos sistemas de riego por goteo. Por lo tanto, este estudio y otros realizados en esta zona no requieren dimensionar el sistema de riego por goteo, sino únicamente el sistema de bombeo requerido y la mejor opción en cuanto a costo-producción.

En la presente investigación se ha llevado a cabo análisis y cálculos para el dimensionamiento de una electrobomba centrífuga de 1.5 kW para abastecer hasta 1 hectárea de sembríos de mango. Sin embargo, dado que todos los terrenos agrícolas circundantes se encuentran ubicadas en la misma zona, sería factible realizar un dimensionamiento a mayor escala para satisfacer las necesidades de suministro del recurso hídrico mediante bombeo para el riego de todos los terrenos agrícolas aledaños y distribuir el costo inicial entre todos o la mayoría de propietarios. Esta estrategia resultaría beneficiosa, ya que la mayoría de cultivos agrícolas requieren riego con una frecuencia de 2 a 4 veces por semana durante períodos de 2 a 3 horas, dependiendo del producto sembrado, lo que permite establecer turnos de riego en días y horarios específicos para aprovechar la energía solar y trabajar de manera colaborativa.

Debido a la falta de información por parte de los agricultores y la desconfianza que tienen por el uso de energías renovables, aún se sigue haciendo uso del combustible fósil.

Los valores promedio de radiación solar obtenidos de la NASA, el Atlas Solar del Perú y cálculos empíricos fueron de 4.80 kWh/m²día, 6.58 kWh/m²día. Estos valores son óptimos para la implementación de un sistema alternativo eólico-solar destinado a la generación de energía eléctrica, lo que permitiría satisfacer la demanda de 1.1 HP requerida por la bomba de agua utilizada en la agricultura en el distrito de Olmos. Dicho valor de radiación solar es relativamente alto en dicha localidad, lo que lo hace propicio para el diseño de sistemas fotovoltaicos, especialmente para aplicaciones de bombeo. No obstante, sería recomendable llevar a cabo campañas de medición de la irradiación solar en el área específica de estudio. Esto permitiría confirmar u obtener mayores datos precisos para el diseño de un potencial parque solar de mayor capacidad, capaz de abastecer de agua a los terrenos agrícolas en su totalidad.

El diseño del sistema de bombeo se considera directo, ya que no se incluye un dispositivo de almacenamiento de energía como baterías. Esta decisión se debe a que la inclusión de estos componentes aumentaría el costo del sistema, y no se considera necesario debido a que la región no experimenta días nublados por temporadas largas y las horas de sol pico son superiores a cuatro. Estas condiciones son suficientes para el riego por goteo, que se lleva a cabo de 2 a 4 veces por semana en intervalos de hasta 4 horas, según lo indicado. El empleo de baterías solo se justifica cuando el suministro diario de agua para riego resulta insuficiente. Por consiguiente, en el proyecto no se ha contemplado su utilización. Varios autores sugieren la idea de almacenar agua en un tanque elevado en lugar de optar por el almacenamiento de energía en baterías, ya que esta última opción incrementa significativamente los costos del proyecto (Tobajas, 2005).

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

De acuerdo al tipo de zona objeto de estudio el nivel de radiación varía de 3.95Wh/m²/día en el mes de enero hasta 6.01wh/m²/día en el mes de agosto para un Angulo de 15° hacia el norte, al aplicar el análisis al mes menos favorable del año para el diseño se escogió al mes de enero con un promedio de 3.95Wh/m²/día.

Los parámetros de energía solar necesarios para mi estudio fueron: Óptima inclinación de incidencia: 15°. Basado en la radiación mínima registrada durante el mes menos favorable, que sería el mes de enero con 3.95 kW/m² día, según datos de Senamhi.

El diseño del sistema fotovoltaico estará seleccionado de acuerdo a los cálculos y parámetros necesarios para abastecer de agua por bombeo, con lo que tenemos 6 paneles solares de 200Wp cada uno de 12 V., de 6 Amp, que irán instalados en serie y paralelo para cubrir la demanda.

Para la red que transporta el agua desde el lugar donde se extrae o se recoge inicialmente hacia punto de almacenamiento se utilizará tuberías de PVC resistentes al calor de hasta 35°C, con un diámetro de 2". La distancia de recorrido del sistema que distribuye el suministro de agua es de 26m a partir del tanque de almacenamiento. La tubería estará soportada por bases de A° G° a lo largo de todo su recorrido.

El plan de mantenimiento los paneles solares fotovoltaicos se basaron en los manuales de fabricante.

Se diseñó un esquema haciendo uso del software AutoCAD utilizando las normas vigentes.

4.2. Recomendaciones

Sería beneficioso que esta área de estudio se aborde en el ámbito académico debido a la relevancia que tiene para nuestra disciplina, además de representar una posible respuesta a un desafío en el campo energético.

Creación de nuevas oportunidades de empleo con esta tecnología apropiada, con la capacitación de técnicos solares, encargados del mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico.

Es recomendable en adelante dictar taller participativo de energía solar con fines educativos para la evaluación y ver posibles debilidades en el proyecto.

Se recomienda implementar este tipo de proyectos en las hectáreas de cultivo aledañas del distrito de Olmos, ya que aún hay zonas carecen de acceso al agua del canal y poseen una extensión considerable de terreno. Además, la región es propicia para aprovechar la energía fotovoltaica debido a la alta radiación solar previamente mencionada.

En comparación con una Instalación de un Sistema de utilización según los estudios realizados, la diferencia en cuanto a gastos de inversión es considerable.

REFERENCIAS

- [1] D. Cruz Baldán, «Estudio del ahorro mediante bombeo solar,» Universidad Internacional de Andalucía, Andalucía, 2011.
- [2] XIX Simposio Peruano de Energía Solar , «Energía fotovoltaica».
- [3] D. Arrieta Morelo y S. Puello Bravo, «Diseño y construcción de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético en paneles fotovoltaicos de un sistema de bombeo.,» Córdoba , 2015.
- [4] E. Álvarez, «Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, alimentado con energía fotovoltaica para la finca San Antonio ubicada en la Isla de Ometepe del departamento de Rivas,» UNAM - Managua, Managua, 2019.
- [5] A. García, J. Gallagher y E. Poyato, «Análisis del impacto ambiental y económico vinculado a la energía fotovoltaica frente al uso de energías convencionales,» Universidad de Córdoba España, Huesca, 2019.
- [6] INEI , «Perú: Mapa del Déficit de Agua y Saneamiento Básico a nivel distrital, 2007,» Talleres de la Oficina Técnica de la Administración del INEI, Lima, 2007.
- [7] K. Alarcón , «Diseño de sistema fotovoltaico flotantes de desalación y bombeo para regadío.,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2019.
- [8] A. Barqueros, «Optimización de sistemas de bombeo solar directo,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2019.
- [9] A. Bustamante y E. Juniors, «Energía solar fotovoltaica para mejorar el Sistema de riego del caserío La Victoria, provincia de Uctubamba,» Uctubamba, 2019.

ANEXOS

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA CALCULAR “NIVEL DE
RADIACION SOLAR POR MESES/AÑOS

Alumno: Romero Gutierrez, Darling Enrique

Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Proyecto de Tesis: Diseño de Bombeo Fotovoltaico para Sembríos de Mango de Hasta 01 Hectárea, en el Distrito de Olmos – Lambayeque.

Recolección de datos de Irradiación solar por kW/m² por mes/año del 2010 hasta el 2015

Mes/Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio	HSP
Enero	94.79	143.33	111.74	120.22	123.12	140.91	122.35	3.95
Febrero	96.41	136.01	135.02	139.71	144.23	119.27	128.44	4.43
Marzo	119.48	176.83	160.22	139.11	179.35	134.96	151.66	4.89
Abril	140.25	153.85	154.95	166.41	169.89	136.72	153.68	5.12
Mayo	171.07	167.37	140.68	146.59	117.85	120.25	143.97	4.64
Junio	174.53	147.01	126.94	175.25	137.31	116.89	146.32	4.88
Julio	192.97	158.26	143.1	201.13	190.52	145.5	171.91	5.55
Agosto	184.97	194.38	178.64	200.85	171.95	187.06	186.31	6.01
Setiembre	180.55	188.88	113.05	204.35	195.96	192.14	179.16	5.97
Octubre	180.07	182.95	175.52	192.51	184.7	183.47	183.2	5.91
Noviembre	178.07	180.58	172.73	186.95	175.45	147.53	173.55	5.79
Diciembre	155.49	141.06	160.69	168.11	168.64	142.79	156.13	5.04

HSP: Horas Solar Pico

Darling Enrique Romero Gutierrez – DNI: 45777992
Estudiante Carrera Ing. Mecánica Eléctrica

EOS POLY 200W

156.75 mm Cell - 72 Cells



KEY FEATURES



PERC Cells Technology



Lower LCOE and BOS



Less Hot Spot Shading effects



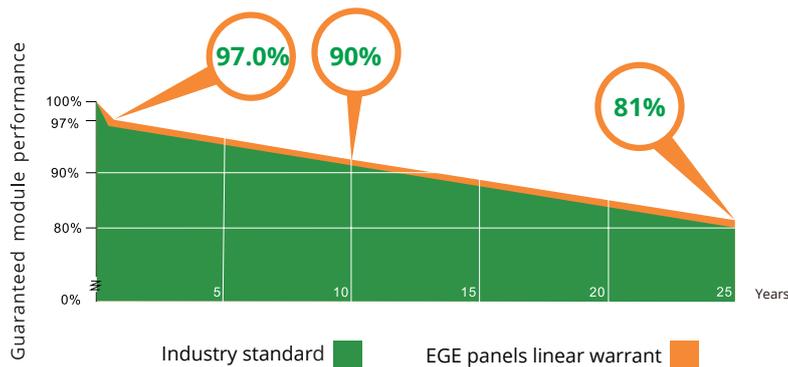
Anti PID/ Low LID protection



Lower temperature coefficient

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty · 25-Year Linear Power Warranty



72 Cells(5BB)

Polycrystalline Module



15.27%

Maximum Efficiency



0~+5W

Positive Power Tolerance



GRADE A

Cells Guaranteed

COMPREHENSIVE CERTIFICATES

IEC 61215/ IEC 61730 / IEC 61701 / IEC 62716

ISO 9001 : Quality Management Systems



ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	200 W
Power tolerance	0~+5 W
Module efficiency	15.27 %
Maximum power voltage (Vmp)	18.54 V
Maximum power current (Imp)	10.79 A
Open circuit voltage (Voc)	22.51 V
Short circuit current (Isc)	11.75 A

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

ELECTRICAL DATA AT NOCT**

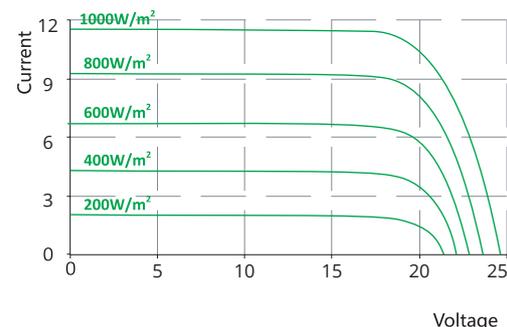
Power output (Pmax)	147.96 W
Maximum power voltage (Vmp)	17.12 V
Maximum power current (Imp)	8.63 A
Open circuit voltage (Voc)	20.90 V
Short circuit current (Isc)	9.54 A

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

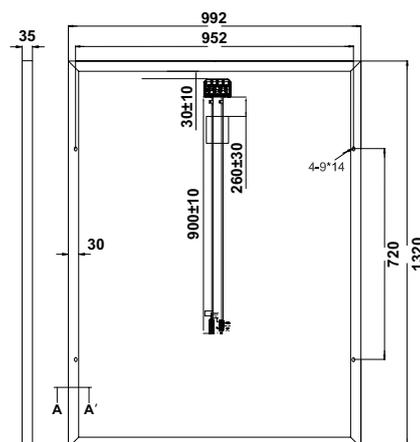
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156.75x104mm)
Number of cells	72
Dimensions	1,320x992x35mm
Weight	15.0 kg
Glass	3.2 mm Tempered Glass, High Transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4mm ² , 900mm (+) 900mm (-) ; Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5,400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2,400 Pa

I-V CURVES



Dimension of PV Module (mm)



TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

MAXIMUM RATINGS

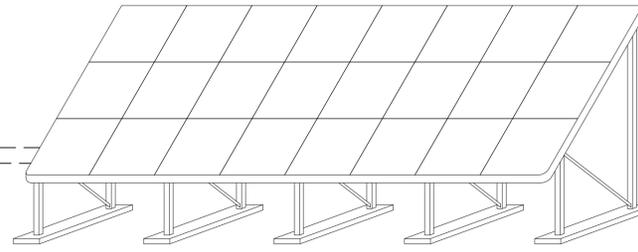
Operating temperature range	-45 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1,500V/DC(IEC) 1,500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

PACKAGING (1,320x992x35mm)

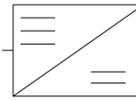
Type	Quantity	Weight
Per pallet	31 pcs	495 kg
40ft HQ Container	1,160 pcs	18.5 t



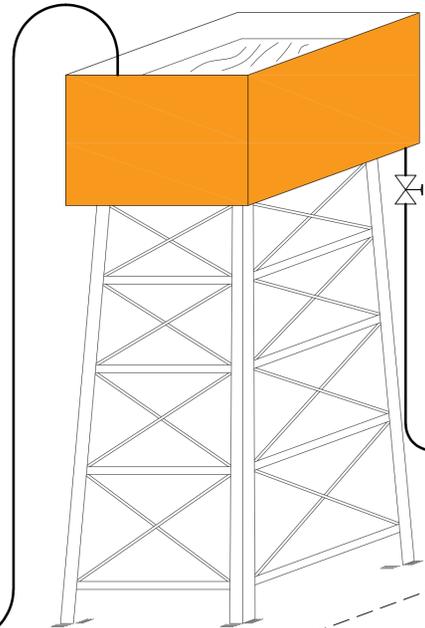
Generador Solar



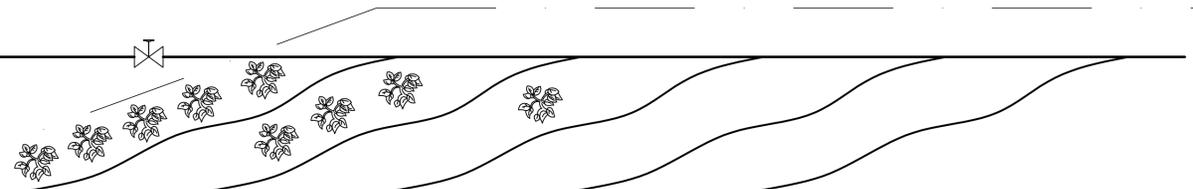
Inversor



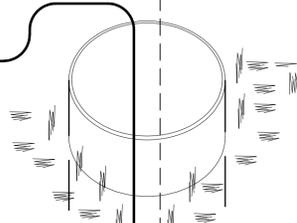
Estanque Elevado



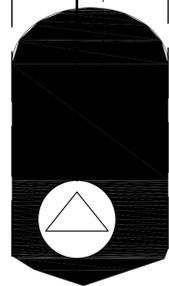
Sistema de Riego por Goteo



Pozo de Agua



Motobomba



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

DISEÑO DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA SEMBRIDOS DE HASTA 1HA EN EL DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE.

ALUMNO:
DARLING ENRIQUE ROMERO GUTIERREZ

FECHA:
15/04/2024

CARRERA PROFESIONAL:
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

ESCALA:
1/1000

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS_ROMERO GUTIERREZ DARLING E
NRIQUE_TURNITIN1.docx**

AUTOR

darling enrique romero gutierrez

RECUENTO DE PALABRAS

14146 Words

RECUENTO DE CARACTERES

76370 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

62 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 27, 2024 12:14 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 27, 2024 12:15 PM GMT-5**● 24% de similitud general**

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

- 21% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaturú Morales**, coordinador de investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Tesis titulado: **DISEÑO DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA SEMBRÍOS DE MANGO DE HASTA 01 HECTÁREA, EN EL DISTRITO DE OLMOS - LAMBAYEQUE**

elaborado por el (los) Bachiller(es):

ROMERO GUTIERREZ DARLING ENRIQUE

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **24%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 27 de junio de 2024

Dra. Gastiaturú Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433