



UNIBA
Centro Universitario
Internacional
de Barcelona

Centro
adscrito



**UNIVERSITAT DE
BARCELONA**

**MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBILIDAD
ENERGÉTICA (MERSE)**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE BOMBEO
FOTOVOLTAICO (PV) DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA EN
LA ZONA MIRAMAR-PAITA, PERÚ**

AUTOR: Ivonne Estefany Margareth Chunga Ramirez

TUTOR: Dr. Miguel Villarrubia.

CURSO: 2021-2022

Barcelona, España

2022

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A Dios, mi madre Elena Ramirez y mis queridos hermanos por su constante motivación.

Un agradecimiento especial a mi madre, al doctor Miguel Villarrubia y al doctor Rodolfo Rodríguez por su constante apoyo durante la realización de la tesis.

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Objeto e interés del proyecto..... | 9 |
| 1.1 | Objetivo general..... | 9 |
| 1.2 | Objetivos específicos | 9 |
| 2. | Alcance del proyecto..... | 9 |
| 3. | Estado de la situación de los sistemas de riego en la zona Miramar – Paita..... | 9 |
| 3.1 | Ubicación geográfica de la localidad de Miramar..... | 9 |
| 3.2 | Clima..... | 10 |
| 3.3 | Situación de los sistemas de riego..... | 11 |
| 4. | Descripción del terreno agrícola a regar | 11 |
| 4.1 | Situación actual del terreno agrícola | 11 |
| 5. | Sistemas de bombeo fotovoltaico (PV)..... | 12 |
| 5.1 | Subsistema de motor/bomba | 12 |
| 5.2 | Subsistema de acondicionamiento de potencia | 14 |
| 6. | Aplicaciones de sistemas de bombeo PV por el tipo de motor | 15 |
| 6.1 | Sistema de bombeo con motores DC | 15 |
| 6.2 | Sistema de bombeo con motores AC | 15 |
| 7. | Justificación selección del sistema de bombeo fotovoltaico | 16 |
| 8. | Dimensionado de la bomba hidráulica: Caudal, potencia y altura manométrica | 18 |
| 8.1 | Evaluación del caudal del cultivo..... | 18 |
| 8.2 | Cálculo de la altura hidráulica de Bombeo | 19 |
| 8.3 | Cálculo de la energía hidráulica y potencia eléctrica..... | 20 |
| 8.4 | Selección de la bomba comercial | 20 |
| 9. | Análisis del lugar y recurso solar | 21 |
| 9.1 | Irradiancia solar en la localidad de Miramar..... | 21 |
| 9.2 | Funcionamiento en días nublados | 23 |
| 9.3 | Cálculo de la potencia del generador fotovoltaico | 23 |
| 9.3.1 | Cálculo del controlador de la bomba..... | 23 |
| 9.3.2 | Cálculo de los paneles solares..... | 24 |
| 9.3.3 | Cálculo del número de paneles fotovoltaicos..... | 25 |
| 10. | Depósito de almacenamiento | 26 |
| 11. | Condiciones del agua potable en la localidad de Miramar..... | 26 |
| 12. | Inversiones | 29 |
| 13. | Costos de otras soluciones no fotovoltaicas | 30 |
| 14. | Rentabilidad económica | 30 |
| 15. | Mujeres en el uso de sistemas de bombeo fotovoltaico | 31 |
| 16. | Conclusiones | 32 |
| 17. | Recomendaciones..... | 32 |
| 18. | Bibliografía | 33 |

| | |
|------------------|----|
| 19. Anexos | 34 |
|------------------|----|

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad de Miramar, Paita, Perú Fuente: (4) | 10 |
| Figura 2. Representación de las temperaturas y lluvias de Miramar..... | 10 |
| Figura 3 Molino de viento de Miramar, Paita, Perú..... | 11 |
| Figura 4 Bomba centrífuga. Fuente: Megabombas | 13 |
| Figura 5 Bomba de desplazamiento positivo. Fuente: (5)..... | 13 |
| Figura 6 Módulo fotovoltaico monocristalino. Fuente: (10)..... | 14 |
| Figura 7 Módulo fotovoltaico policristalino. Fuente: (10)..... | 14 |
| Figura 8 Variador de frecuencia RX. Fuente: OMRON | 15 |
| Figura 9. Tipos de bombeo fotovoltaico para riego agrícola. Fuente: (8)..... | 15 |
| Figura 10 Sistema de bombeo fotovoltaico directo con almacenamiento..... | 16 |
| Figura 11 Gráfica de las alturas de un sistema de bombeo | 19 |
| Figura 12 Gráfica de la Bomba PSk2-7 C-SJ95-1 | 21 |
| Figura 13 Energía solar incidente diaria del Departamento de Piura Fuente: (6) | 22 |
| Figura 14 Relación entre Irradiación y Horas Solar Pico en un día. | 22 |
| Figura 15 Funcionamiento en un día con nubes. Fuente:(15) | 23 |
| Figura 16 Sistema agua potable Miramar | 27 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Tipos de sistemas de bombeo (manual, Diesel y solar). | 12 |
| Tabla 2 Ventajas y desventajas de motores eléctricos para un sistema de bombeo PV. Fuente: Elaboración propia | 13 |
| Tabla 3 Operación de una bomba de desplazamiento positivo y centrífuga. Fuente: Elaboración propia. | 13 |
| Tabla 4 Tipos y características de cultivo de Miramar. | 18 |
| Tabla 5 Datos técnicos del inversor-controlador PSk2-7. | 24 |
| Tabla 6 Especificaciones técnicas del panel solar ESPSC 400 M | 24 |
| Tabla 7 Tabla de irradiación solar por mes del año 2020 de PVGIS. Fuente: Elaboración propia..... | 25 |
| Tabla 8 Condiciones del depósito. Fuente: | 26 |
| Tabla 9 Características del depósito bajo la normativa ISO 9001. | 26 |
| Tabla 10 Presupuesto del sistema de bombeo fotovoltaico..... | 29 |
| Tabla 11 Presupuesto del sistema motor-bomba de combustión. | 30 |
| Tabla 12 Características de la producción de plátano 20ha. | 30 |
| Tabla 13 Periodo de rentabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico..... | 30 |

Resumen analítico – informativo

Estudio de viabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico (PV) de agua para riego agrícola en el centro poblado de Miramar - Paita, Perú

Ivonne Estefany Margareth Chunga Ramirez

Asesor(es): Dr. Miguel Villarrubia

Palabras claves: bombeo, energías fotovoltaicas

Introducción: El centro poblado de Miramar tiene como principal ingreso económico la agricultura. Los sembríos son regados a partir de motobombas y molinos de viento artesanales. Las autoridades de esta localidad no implementan nuevas tecnologías que disminuyan los costos y no contaminen el medio ambiente. Es por esto que se busca implementar el uso de energía renovables para un sistema de bombeo subterráneo.

Metodología: La metodología de la tesis es teórica – aplicada, la cual parte de conocer el lugar de estudio, su climatografía, analizar el procedimiento para el dimensionamiento y el cálculo de un sistema de bombeo de agua desde un embalse al riego de los sembríos, que utiliza como fuente de energía la energía fotovoltaica.

Resultados: Un sistema de bombeo fotovoltaico en el Centro Poblado de Miramar para 20 hectáreas de producción de plátano, está conformado por 14 paneles fotovoltaicos de 400 Wp, una bomba de 76 m³/h, un motor de corriente alterna de 5.5 kW y un controlador/inversor de 8 kW

Fecha de elaboración del resumen: 31 de mayo de 2022

Analytical-Informative Summary

Estudio de viabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico (PV) de agua para riego agrícola en el centro poblado de Miramar - Paíta, Perú

Ivonne Estefany Margareth Chunga Ramirez

Asesor: Dr. Miguel Villarrubia

Keywords: pumping, photovoltaic energy

Introduction: El centro poblado de Miramar has agriculture as its main economic income. The crops are irrigated from motorized pumps and artisanal windmills. The authorities of this locality will not implement new technologies that reduce costs and do not pollute the environment. This is because it seeks to implement the use of renewable energy for an underground pumping system.

Methodology: The methodology applied was theoretical and applied, first knowing the place of study, it is climatography, analyzing the procedure for the dimensioning and calculation of a water pumping system from a reservoir to the irrigation of crops, which uses photovoltaic energy as a source of energy.

Results: A photovoltaic pumping system in Centro Poblado Miramar for 20 hectares of banana production, have 14 photovoltaic panels of 400 Wp, a 76 m³/h pump, a 5.5 kW alternating current motor and a controller/inverter of 8kW

Summary date: May 31, 2022

CAPÍTULO I:

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. Objeto e interés del proyecto

El presente trabajo tiene como objeto aplicar el uso de la energía fotovoltaica (PV) a los sistemas de riego agrícola de los sembríos del Centro Poblado de Miramar.

1.1 Objetivo general

Realizar un estudio de viabilidad para la extracción y bombeo de agua a partir de las energías fotovoltaicas en el centro poblado de Miramar, Paita, Perú.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar los datos meteorológicos de radiación solar del centro poblado de Miramar para determinar la hora solar pico (HSP).
2. Concebir la ingeniería básica del sistema de bombeo y de la planta fotovoltaica para suministro eléctrico del sistema.
3. Aplicación a una superficie de 20 ha de cultivo de plátanos.
4. Establecer los costos de materiales e instalación del sistema de bombeo fotovoltaico en el Perú.
5. El trabajo busca aplicar los objetivos de desarrollo sostenible 5,7 y 12, a partir de la participación de las mujeres en el sector agrícola y el uso de las energías fotovoltaicas.
6. Presentar un programa de capacitación a las mujeres pertenecientes a la localidad para incrementar su participación en la agricultura.

2. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto incluye el análisis de la radiación solar de la localidad de Miramar, el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico. El análisis económico y la mayor participación de las mujeres en la agricultura.

Este trabajo pretende desarrollar tres objetivos de desarrollo sostenible: ODS 5 igualdad de sexos, cuyo enfoque va asociado a las mujeres entre 18 y 35 años de la comunidad Miramar, Paita, Perú. La ODS 7 como energía asequible y no contaminante, mediante el uso de la energía fotovoltaica para el bombeo de agua subterránea. Por último, la ODS 12 como producción de consumo responsable, cuyo fin es brindar agua a los sembríos.

3. Estado de la situación de los sistemas de riego en la zona Miramar – Paita

3.1 Ubicación geográfica de la localidad de Miramar

La comunidad de Miramar está al noroeste del Perú, en el margen derecho del Río Chira en el distrito de Vichayal; provincia de Paita; departamento de Piura (latitud: -4.87222; longitud: -81.1017). Al N limita con el departamento de Talara, al S con el distrito de Colán, al este con el distrito de Vichayal y al oeste con el océano Pacífico (figura 1). (14)

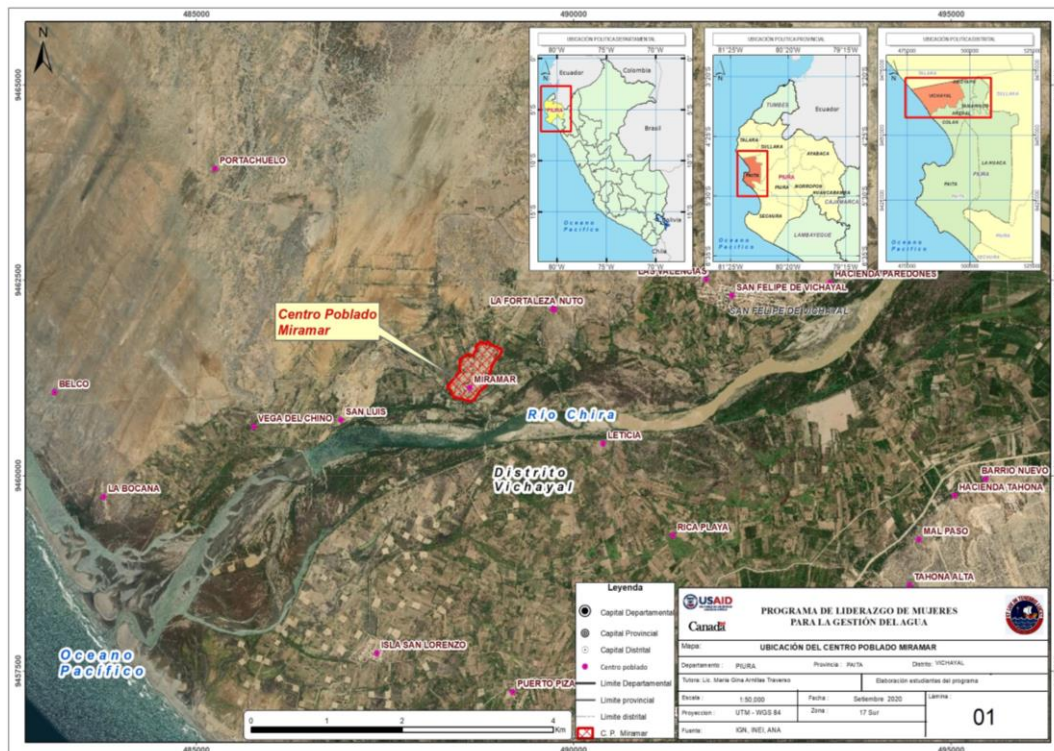


Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad de Miramar, Paita, Perú Fuente: (4)

3.2 Clima

La localidad de Miramar posee un clima cálido y seco, con una temperatura media anual de 21,8 °C. Las lluvias son entre los meses de enero y mayo, con una media anual de 163 mm y una humedad relativa del 76%. La siguiente figura representa el climograma del año 2019, donde representa las lluvias y temperaturas de todos los meses.

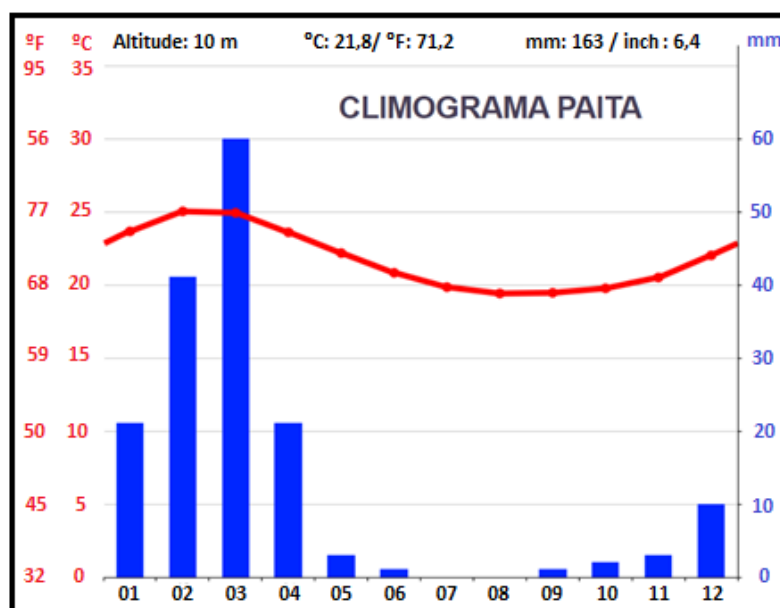


Figura 2. Representación de las temperaturas y lluvias de Miramar.

Fuente: INEL

3.3 Situación de los sistemas de riego

Miramar tiene como principal actividad económica la agricultura, pero el agua para riego es escasa durante el año. El 57% de agricultores riega por canales, el 43% por otros sistemas (aerogeneradores y bombas). El 58% riegan por inundación, un 34% lo hacen por surco y un 8% utiliza algún tipo de riego tecnificado. (3)

Los campesinos manifiestan tener problemas para pagar el agua, por el bajo precio de venta de sus productos y el alto costo de producción. Además, hay escasez de agua en los meses de estiaje del río. En media un jornal de trabajo es aproximadamente 10 US\$.

4. Descripción del terreno agrícola a regar

4.1 Situación actual del terreno agrícola

Los agricultores siembran entre 4 a 5 cultivos en superficies de 1/4 y 1/2 ha cada uno de ellos, teniendo en total menos de 2 ha. Sus principales cultivos son el camote, maíz, yuca, plátano, zanahorias, hierva luisa y algunas frutas.

Esta localidad, situada en el Delta del río Chira, dispone de agua de enero a marzo y el riego es por bajo caudal con una disposición de cada treinta días. Durante los otros meses, utilizan el agua de los drenes accionados por molinos de viento artesanales, construidos en 1918. Cada molino puede extraer agua de pozos de hasta 15 m de profundidad regando hasta 3 ha de cultivos agrícolas. Se suelen utilizar motobombas. Los cultivos recomendados tienen baja demanda de agua ($3,268 \text{ m}^3/\text{ha}$). (3)

La siguiente figura muestra un molino de viento artesanal y el pozo de profundidad 10 m. El funcionamiento se genera con fuertes vientos desde las 10:00 am hasta las 6:00 pm y aproximadamente 3 molinos abastecen 1 ha de cultivo. Los fuertes vientos se presentan en los meses de abril a noviembre. Los cultivos están a unos 200 m de los molinos de vientos, donde el agua se lleva por mangueras y canales hechos por los agricultores.



Figura 3 Molino de viento de Miramar, Paíta, Perú.

Fuente: Elaboración propia

5. Sistemas de bombeo fotovoltaico (PV)

Un sistema de bombeo alimentado por energía fotovoltaica está conformado por paneles fotovoltaicos, reguladores de corriente continua, inversores solares de corriente continua a corriente alterna, motores (DC o AC), bombas sumergibles, flotantes o de superficie, un pozo y un depósito de acumulación. (13)

El uso de un sistema de bombeo fotovoltaico frente a otras fuentes energéticas como Diesel, depende principalmente de factores económicos y geográficos de cada sitio.

| Tipos de sistemas de bombeo | Ventajas | Desventajas |
|--|---|--|
| Manual – caso Miramar con los molinos de viento artesanales | No necesita energía eléctrica. Fácil mantenimiento y bajo costo de fabricación. | Produce bajo caudal y no le suelen aplicar un mantenimiento regular. |
| Diesel | Costo de inversión medio. Fácil sistema de traslado e instalación. | Mantenimiento preventivo. Alto costo del combustible. Alto nivel de ruido. |
| Solar | Sistema de larga vida con bajo mantenimiento. Fácil de instalar. | Alto costo de inversión. La energía producida depende de la radiación solar. |

Tabla 1 Tipos de sistemas de bombeo (manual, Diesel y solar).

Fuente: Elaboración propia

Los factores principales para la configuración de un sistema PV son (1):

- Las condiciones climáticas e hidráulicas
- Profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie
- Altura estática de la elevación del agua por encima del nivel del suelo.
- Pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios.
- La radiación solar para suministrar energía a los paneles fotovoltaicos.

5.1 Subsistema de motor/bomba

Los sistemas de bombeo tienen un subsistema motor/bomba, donde un motor acciona a una bomba. Este motor puede ser de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC). El nombre de los sistemas de bombeo por la posición del subsistema motor/bomba en el pozo puede ser sumergibles, flotantes o de superficie. (4)

| Tipos de motor para un sistema de bombeo PV | Ventajas | Desventajas |
|--|---|--|
| Motores DC | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Poseen altos rendimientos. ▪ Sólo necesitan un controlador y no un inversor. ▪ Trabajan bien con los generadores PV y bombas centrífugas. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesitan mantenimiento regular para sistemas sumergibles. ▪ Alto costo de inversión. |
| Motores AC | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejor eficiencia que el motor DC. ▪ Bajo costo de inversión. ▪ Utiliza un inversor (DC/AC) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuando la temperatura aumenta, el rendimiento disminuye por las pérdidas resistivas. |

Tabla 2 Ventajas y desventajas de motores eléctricos para un sistema de bombeo PV.

Fuente: Elaboración propia

| Tipos de bombas para bombeo PV | Operación |
|--|---|
| Bombas de desplazamiento positivo | Operan con alta presión y bajos caudales |
| Bombas centrífugas | Operan con altos caudales y bajas presiones |

Tabla 3 Operación de una bomba de desplazamiento positivo y centrífuga. Fuente: Elaboración propia

Las bombas pueden ser instaladas en la superficie, sumergible en el pozo y flotantes. Las bombas sumergibles se utilizan para pozos profundos de pequeño diámetro. Las bombas flotantes operan con un flotador en los ríos, lagos o pozos de gran diámetro, proporcionando mucho caudal a bajas alturas manométricas. Por último las bombas en la superficie no deben los 8 metros de succión del pozo.(4)



Figura 4 Bomba centrífuga. Fuente: Megabombas



Figura 5 Bomba de desplazamiento positivo. Fuente: (5)

5.2 Subsistema de acondicionamiento de potencia

Los sistemas de bombeo además del motor/bomba tienen un subsistema de acondicionamiento de potencia.

Los módulos fotovoltaicos están formados por celdas fotovoltaicas, elaborados de un material semiconductores de silicio que absorben la energía solar fotovoltaica. Esta energía es a bajas tensiones y en corriente continua. (11)

Un panel fotovoltaico es un conjunto de módulos fotovoltaicos conectadas en serie o en paralelo para producir los voltajes y corrientes deseados. La mayoría de las celdas producen 0,5 V. Un módulo típico tiene 36 celdas, por lo tanto, tendrán un voltaje de 18 V, bajo condiciones estandarizadas y un voltaje nominal de 12V. (12)

Los módulos fotovoltaicos pueden ser monocristalinos y policristalinos.

Los módulos monocristalinos están conformados por celdas monocristalinas cuya estructura homogénea facilita el movimiento de los electrones a través de la celda y su flujo de las conexiones a través de los conductores hacia la parte superior, permitiendo que más electrones escapen de la celda. (10)

La figura 4 presenta un módulo fotovoltaico monocristalino comercial con una eficiencia entre 13% al 22%.



Figura 6 Módulo fotovoltaico monocristalino. Fuente: (10)

Los módulos policristalinos están conformados por celdas policristalinas, las cuales tienen una menor eficiencia que las celdas monocristalinas. El silicio fundido es vertido en un molde donde se lo solidifica. Cuando el silicio se solidifica se crean varios cristales dentro del lingote. (10).



Figura 7 Módulo fotovoltaico policristalino. Fuente: (10)

El variador de frecuencia (AC/DC) convierte la corriente continua del generador fotovoltaico a corriente alterna del motor. Además es un dispositivo electrónico cuya función principal es variar la velocidad desde cero hasta la nominal máxima de motores de inducción asíncronos trifásicos de corriente alterna.(8)



Figura 8 Variador de frecuencia RX. Fuente: OMRON

6. Aplicaciones de sistemas de bombeo PV por el tipo de motor

El uso del sistema de bombeo PV se puede aplicar en zonas aisladas, donde no hay energía eléctrica. A mayor irradiancia, el bombeo solar será de mayor potencia. La figura 9 del lado izquierdo es un sistema de bombeo PV de alta potencia y la figura del lado derecho representa un sistema de bombeo PV de baja potencia.

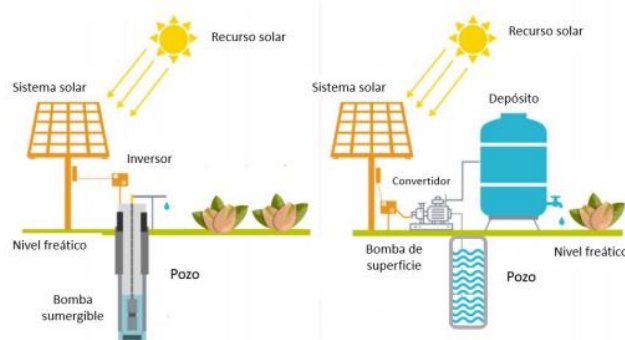


Figura 9. Tipos de bombeo fotovoltaico para riego agrícola. Fuente: (8)

6.1 Sistema de bombeo con motores DC

Un sistema de bombeo PV con motor DC está compuesto por un generador fotovoltaico, un controlador DC/DC, una bomba y un motor DC.

El controlador DC, que ajusta la impedancia entre el sistema PV y el motor para poder utilizar en cualquier situación la máxima potencia.(8). Este sistema se utiliza para bajas potencia, las cuales se presentan al inicio y final de las horas sol del día.

6.2 Sistema de bombeo con motores AC

Un sistema de bombeo PV con motor AC está compuesto por un generador PV, un inversor DC/AC, una bomba y un motor AC. El inversor convierte la corriente continua del generador PV a corriente alterna para alimentar al motor AC. Este sistema se utiliza para altas potencia, las cuales se presentan durante el tiempo donde hay una elevada irradiancia.

7. Justificación selección del sistema de bombeo fotovoltaico

La localidad de Miramar cuenta como principal ingreso económico a la agricultura. Sus tierras producen distintos productos (camote, plátanos, arroz, yuca, lechuga y hierva luisa) durante todo el año. Gracias a su clima, sus tierras son fértiles, llueve en los meses de verano y el ambiente es cálido por todo el año. Sin embargo, a pesar de un excelente clima, los canales de riego no se dan abasto para cubrir la demanda de agua a todos los sembríos de los campesinos. Por lo cual se propone diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico a partir de un pozo de agua y un almacenamiento del agua cada cierto tiempo.

Se instalará un pozo con una bomba centrífuga sumergible, un motor AC, un inversor y un conjunto de paneles fotovoltaicos. Este sistema se conoce como sistema fotovoltaico directo.

El sistema fotovoltaico debe tener en cuenta que el motor debe soportar la potencia de pico generada por el sistema fotovoltaico, por lo tanto, la potencia eléctrica de entrada debe ser como mínimo la del generador fotovoltaico. (8)

Las condiciones meteorológicas, la temperatura y radiación solar establecen si el lugar es óptimo para un sistema PV. La región Piura presenta entre 8 h y 10 h de sol diarios.

La siguiente figura representa un sistema de bombeo solar directo a partir del bombeo de agua de un pozo con almacenamiento en un depósito alimentado por paneles fotovoltaicos.

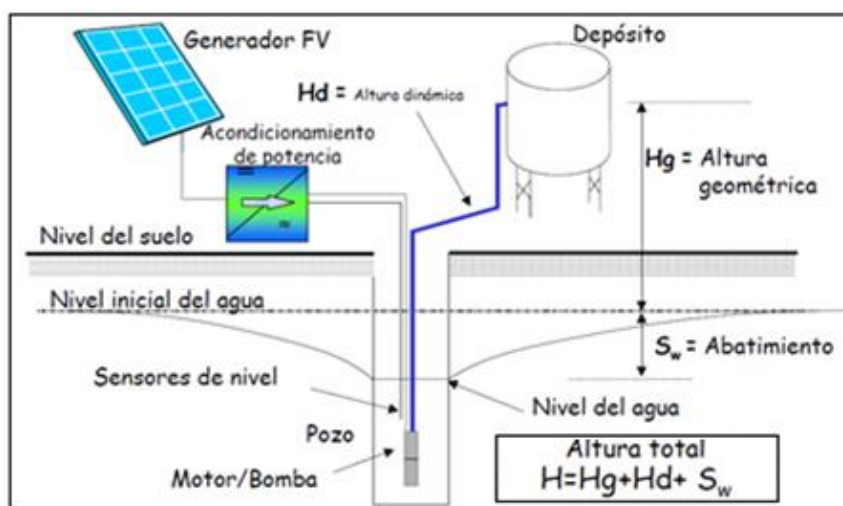


Figura 10 Sistema de bombeo fotovoltaico directo con almacenamiento.
Fuente: (1)

Las siguientes siglas representan:

H_g : altura geométrica; H_d : altura dinámica

S_w : abatimiento

Donde la altura total (H): $H = H_g + H_d + S_w$

CAPÍTULO II: DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO

8. Dimensionado de la bomba hidráulica: Caudal, potencia y altura manométrica

8.1 Evaluación del caudal del cultivo

Se consultó a los agricultores de Miramar, Paita los meses de duración para cada cultivo de camote, maíz yuca, plátano, zanahoria, hierba luisa y árboles frutales (fresa y plátano), indicando también aproximadamente el volumen de agua utilizada.

| <i>Tipo de cultivo</i> | <i>Duración del cultivo</i> | <i>Horas de riego</i> | <i>Observaciones</i> |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|
| Camote, maíz y yuca | 3 a 4 meses | | No necesita mucha agua y se siembra en época de poca agua. |
| Plátano | 8 a 12 meses | 1 ha tarda 1 h en regarse cuando el río está lleno y 4 h cuando está a nivel bajo. | El agua permanece en el sembrío entre 3 a 4 días. |
| Zanahoria | 2 meses | | |
| Hierba Luisa | 6 meses | | |
| Fresa | 3 meses | Se riega inter diario de 3 a 5 veces con valdes de agua | |

Tabla 4 Tipos y características de cultivo de Miramar.

Fuente: Elaboración propia

Consideramos como base de cálculo un módulo de 20 ha de producción de plátano con temporadas de bajo caudal. El cálculo de las necesidades de agua de riego es:

Una planta de plátano tiene un área foliar de 14 m^2 y un índice foliar de 2.1, por lo que:

$$\text{Número de plantas de plátano} = \frac{10,000 \text{ m}^2/\text{ha}}{14 \text{ m}^2} \times 2.1 = 1,500 \frac{\text{plantas}}{\text{ha}}$$

Una planta en días soleados consume 25 l/día de agua, en días nublados 16 l/día y en días fríos 10 l/día. El riego se debe efectuar cada 3 o 4 días. Se considerarán 8 días de riego cada mes y en condiciones más exigentes (25 l/día planta).

$$1,500 \frac{\text{plantas}}{\text{ha}} \times 1 \text{ día} \times 25 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 37,500 \frac{\text{l}}{\text{ha día}} = 37.5 \frac{\text{m}^3}{\text{ha día}}$$

El cultivo de 1500 plantas/ha consume en promedio en un día $37.5 \text{ m}^3/\text{ha}$. El consumo mensual de agua por ha (1500 plantas) será:

$$1,500 \frac{\text{plantas}}{\text{ha}} \times 8 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 25 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 300,000 \frac{\text{l}}{\text{ha mes}} = 300 \frac{\text{m}^3}{\text{ha mes}}$$

El cultivo de 1 ha (1500 plantas) consume en un mes 300 m^3 . Para 20 hectáreas será:

$$300 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \times 20 \text{ ha} = 6,000 \text{ m}^3$$

El cultivo de 20 hectáreas consume en un mes $6,000 \text{ m}^3$.

A efectos de almacenamiento de agua supondremos:

Una balsa de almacenamiento de capacidad 750 m^3 , con la finalidad de garantizar una reserva de riego suficiente para un periodo sin sol o una parada de la planta PV de 3 – 4 días (volumen de agua es algo superior al exigido en una operación de riego que se realiza entre 3 y 4 días, en concreto cada 3,75 días, es decir 8 veces al mes).

Para cumplir con las condiciones de riego se requiere un bombeo mínimo diario de $193,5 \text{ m}^3/\text{día}$ ($6,000 \text{ m}^3/31 \text{ días} = 193,5 \text{ m}^3/\text{día}$) que se bombearán a la balsa desde donde se distribuirá el agua para las 20 ha.

El dimensionado de bombeo se realizará para un caudal de **$230 \text{ m}^3/\text{día}$** , correspondiente al caudal mínimo diario ($193,5 \text{ m}^3/\text{día}$) incrementado en un 20 % por seguridad.

8.2 Cálculo de la altura hidráulica de Bombeo

La altura hidráulica de bombeo se muestra en la figura 5. La suma de la altura dinámica y la altura estática determina la presión que debe vencer la bomba para su operación.

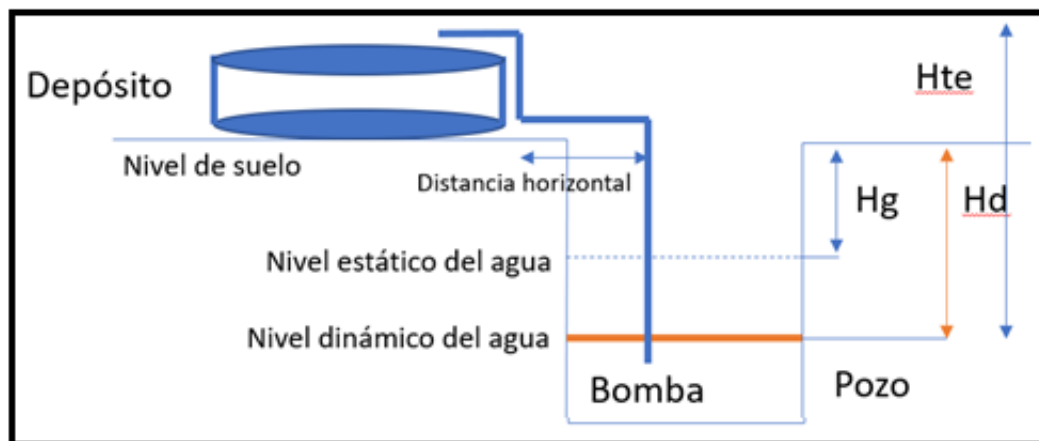


Figura 11 Gráfica de las alturas de un sistema de bombeo

Fuente: Elaboración propia

$$H_{te} = H_g + H_d$$

H_{te} : Altura hidráulica [m]; H_g : Altura estática [m]; H_d : Altura dinámica [m]

Altura estática [H_g]: es la distancia vertical desde el nivel del agua en el pozo hasta el punto más elevado. (2) Este valor fue medido en campo, el cual es igual a 10 m.

Altura dinámica [H_d]: es la distancia vertical que incluye las pérdidas de carga del agua desde el punto de su toma hasta la descarga. (2). Se calcula a través de la fórmula de Hazen – Williams

$$H_d = 10,665 \left(\frac{Q^{1,852}}{C^{1,852}} \right) d^{-4,869} L = 10,665 \left(\frac{0,00266^{1,852}}{125^{1,852}} \right) 0,0762^{-4,869} 20 = 0,13 \text{ m}$$

Para este pozo el material de la tubería será acero galvanizado

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)} = 230 \text{ (m}^3/\text{día)} * (1/86400)\text{día/s)} = 0,00266 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$H_d = \text{Altura dinámica (m)}$$

$$C = \text{Coeficiente de Hazen – Williams} = 125$$

$d =$ Diámetro interno de la tubería (m) = 0,0762 m

$L =$ Longitud de la tubería (m) = 20 m

Entonces la altura hidráulica es: $H_{te} = 0,13 + 10 = 10,13$ m

8.3 Cálculo de la energía hidráulica y potencia eléctrica

Para el cálculo de la potencia de la bomba consideraremos los siguientes datos:

- Caudal diario: 230 m³/día
- Caudal nominal de la bomba: 60 m³/h (se supone que la bomba va a trabajar en condiciones de máxima irradiación solar durante una media de 4 horas pico al día, lo que implica un caudal de 60 m³/h para obtener durante esas 4 horas, el caudal total previsto por un día (60 x 4 = 240 m³, frente a los 230 m³/día)
- Altura manométrica: 11 m. Se incrementa prácticamente un 10 % el valor de la altura hidráulica (10,13 m) por seguridad frente a la incertidumbre en la valoración de la altura dinámica (pérdida de carga en tramos rectos y accesorios)
- Se supone un rendimiento global para el grupo motor eléctrico – bomba de 0,6

La potencia eléctrica P_e que demanda el motor de accionamiento de la bomba es:

$$P_e = \frac{1}{\eta} \times Q \times \rho \times g \times H_m$$

En donde:

- Caudal de agua (Q): 60 m³/h (0.0167 m³/s)
- Densidad del agua (ρ): 1000 kg/m³
- Gravedad (g): 9.807 m/s²
- Altura manométrica (H_m): 11 m
- Rendimiento global grupo motor – bomba (η): 0.4

Sustituyendo en la expresión anterior se tiene: $P_e = 4,5$ kW, por lo que las características del grupo electro – bomba que se propone son:

- Bomba centrífuga sumergida accionada por motor de corriente continua
- Caudal: 60 m³/h
- Altura manométrica: 11 m
- Potencia eléctrica absorbida: 4,5 kW

El consumo eléctrico diario medio se determina partiendo de la base que necesita 4 horas de funcionamiento de la bomba para el aporte del volumen de agua requerido diariamente

$$E = P \times t = 4,5 \text{ kW} \times 4 \text{ h/día} = 18 \text{ kWh/día}$$

8.4 Selección de la bomba comercial

La bomba centrífuga sumergida accionada por motor de corriente alterna (AC) calculada para el sistema de bombeo solar posee un caudal de 60 m³/h, una altura manométrica de 11 m y una potencia eléctrica absorbida de 4,5 kW.

Se realiza una búsqueda de la bomba comercial con valores aproximados a lo calculado anteriormente. La bomba comercial Lorentz PSk2-7 C-SJ42-3 opera a una altura máxima de 30 m, caudal máximo de 75 m³/h y una potencia máxima de 8 kW. La gráfica de la bomba presenta la intersección entre la altura manométrica y el caudal, donde se puede determinar la potencia eléctrica absorbida de la bomba, siendo en este caso un caudal de 60 m³/h, una altura manométrica de 11 m y se obtiene una potencia de 4,8 kW.

Nótese que, al elegir esta bomba para nuestro caso, se modificara algo los valores estimados anteriormente, de tal forma que en la práctica tendremos:

- Caudal: 60 m³/h
- Altura manométrica: 11 m
- Potencia eléctrica absorbida: 4,8 kW
- Energía eléctrica diaria: 4,8 kW x 4 h/día = 19,2 kWh/día

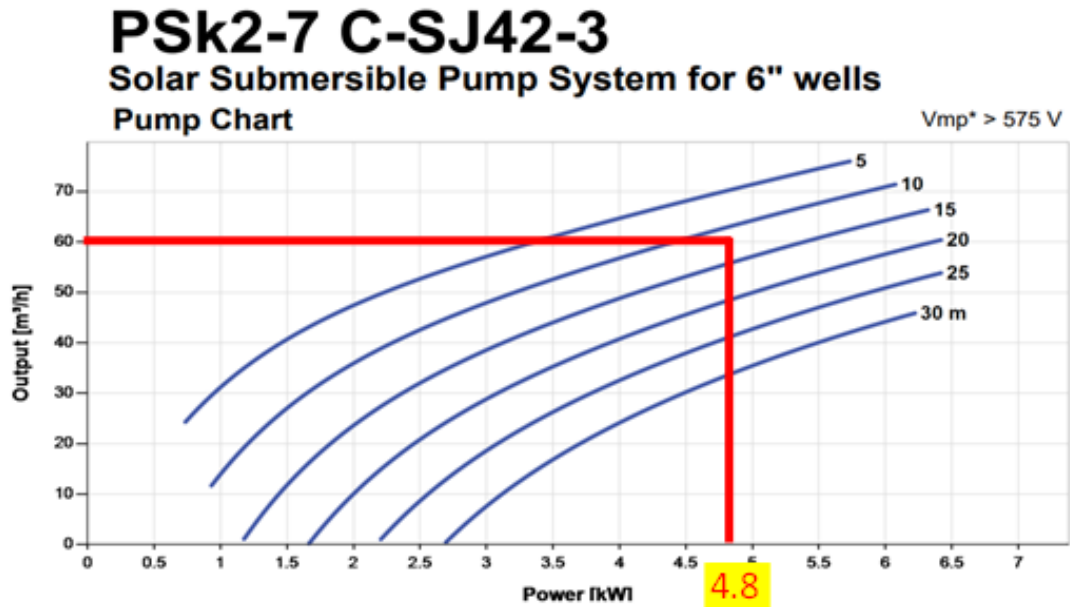


Figura 12 Gráfica de la Bomba PSk2-7 C-SJ95-1

Fuente: Lorentz

9. Análisis del lugar y recurso solar

La posición del sol siempre está cambiando; horizontalmente va de este a oeste y verticalmente va subiendo en el horizonte, alcanzando su punto máximo al medio día y vuelve hacia el horizonte al atardecer. La orientación del sol y ángulo de inclinación se obtienen a partir de la carta solar. La cual contiene en su eje horizontal al ángulo de azimut solar y en su eje vertical al ángulo de altitud solar.

9.1 Irradiancia solar en la localidad de Miramar

La cantidad de energía solar viene dada por la irradiación, que puede expresarse en horas solar pico (HSP). La mayor cantidad de energía solar se recibe al mediodía cuando el sol está más alto en el cielo. Durante el amanecer y el atardecer la irradiación es menor que al mediodía. Durante los meses de verano la irradiación es mayor en comparación con los meses de invierno. A continuación, se presenta el mapa solar de la región Piura, donde se encuentra en la ciudad de Paita, el centro poblado de Miramar.

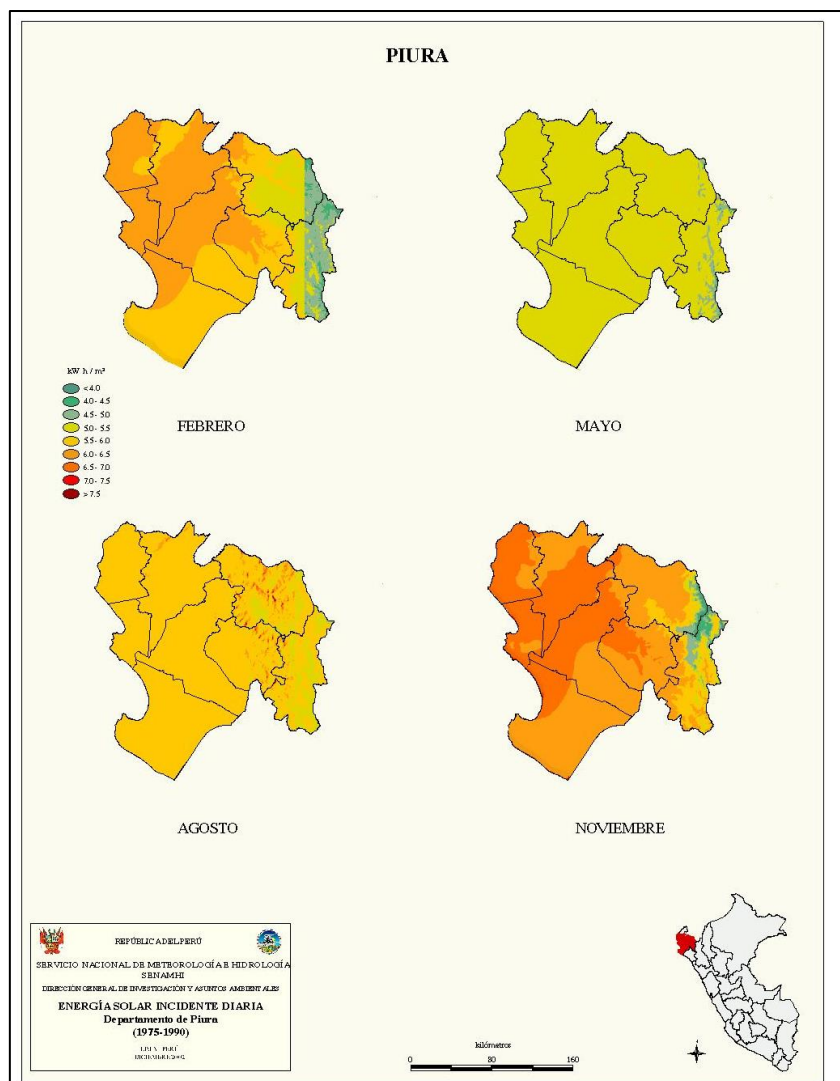


Figura 13 Energía solar incidente diaria del Departamento de Piura Fuente: (6)

La hora solar pico (HSP) es la irradiación solar sobre un área de 1 m^2 en un plano perpendicular a los rayos del sol, durante una hora con una irradiancia de 1000 W/m^2 . Una hora solar pico “HPS” equivale a 1 kWh/m^2 o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m^2 . Es un modo de contabilizar la energía solar recibida agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 Wh/m^2 . (8)

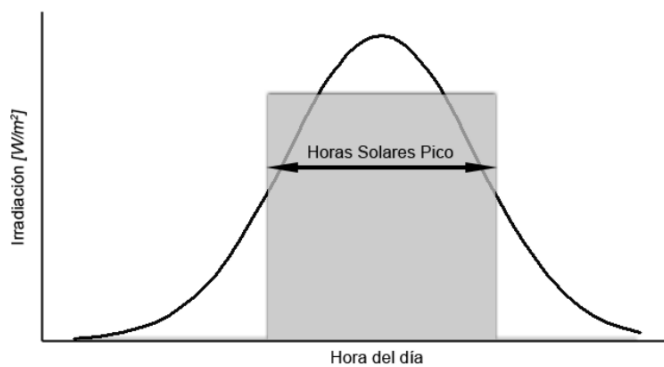


Figura 14 Relación entre Irradiación y Horas Solar Pico en un día.

Fuente: SunFields

9.2 Funcionamiento en días nublados

Durante una semana podemos tener días soleados y nublados; donde en los días nublados los paneles solares no trabajan al 80% de su potencia nominal, por lo cual se debe tener cuidado con la velocidad de la bomba porque al captar poca energía por los paneles solares faltaría energía eléctrica para bombear el agua del pozo subterráneo.

La siguiente gráfica nos muestra una tensión mínima de 230 V. Si los paneles tienen una tensión superior a la mínima, se inicia un arranque con aceleración constante hasta alcanzar una velocidad del 40% de la de la velocidad nominal de la bomba. (15)

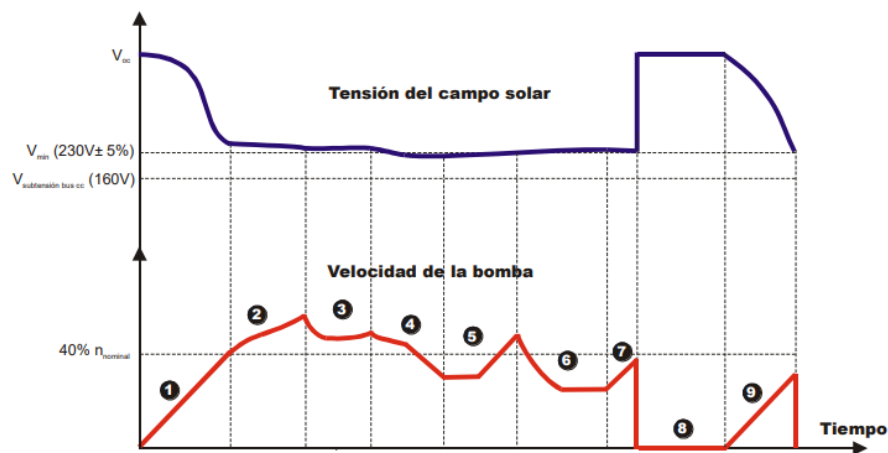


Figura 15 Funcionamiento en un día con nubes. Fuente:(15)

Punto 1 de la figura 15.- al amanecer se producirán varios intentos de arranque con aceleración constante. Si la energía disponible es suficiente, el sistema puede funcionar.

Punto 5 de la figura 15.- aunque la velocidad de la bomba es inferior al 40% de la nominal, la tensión del panel se ha estabilizado.

Punto 7 de la figura 15.- al cabo de un tiempo por debajo del 40% de la velocidad nominal, el control inicia una aceleración constante para intentar alcanzar la velocidad del 40%. (15)

9.3 Cálculo de la potencia del generador fotovoltaico

9.3.1 Cálculo del controlador de la bomba

Se requiere para la bomba 4,8 kW y un consumo diario medio de 19,2 kWh/día. La potencia del inversor debe ser como mínimo ese valor. Tomaremos un inversor cuya potencia de salida sea 6 kW (un 25 % superior a la demanda de bomba), para garantizar que pueda atender a picos de arranque, y a consumos auxiliares.

Si el inversor tiene 6 kW, adoptaremos una potencia de pico de todo el campo fotovoltaico de 8 kWp (un tercio mayor que la potencia del inversor).

Se busca un inversor comercial y se trabajará con un controlador-inversor Lorentz PSk2-7 cuya potencia de entrada de energía solar es 8 kWp. A continuación, se indica los datos técnicos del controlador en una tabla.

El controlador-inversor PSk2-7 convierte la corriente continua en corriente alterna, analizando constantemente la energía solar de entrada por el seguimiento del punto de máxima potencia MPP.

- Campo paneles PV: 8 kWp
- Inversor (salida): 6 kW
- Potencia de la bomba: 4.8 kW
- Consumo medio diario: 19.2 kWh/día

| Modelo | Potencia de entrada de energía solar [kWp] | Motor de la bomba: potencia nominal [kW] | Motor de la bomba: voltaje nominal [V] | Voltaje CC de entrada máximo [V] | Voltaje MPP mínimo [V] | Corriente de salida [A] | Frecuencia de salida [Hz] |
|---------------|---|---|---|---|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| PSk2-7 | 8 | 5,5 | 380/400/415 | 850 | 575 | 3x13 | 0-60 |

Tabla 5 Datos técnicos del inversor-controlador PSk2-7.

Fuente: Elaboración propia

9.3.2 Cálculo de los paneles solares

Los módulos solares monocristalinos con tecnología PERC son los mejores para climas cálidos. Para el sistema de bombeo se utilizarán paneles solares de 400 Wp. A continuación, se muestra su ficha técnica en una tabla.

| Potencia | Voltaje máximo V_{mpp} | Corriente máxima I_{mpp} | Voltaje circuito abierto Voc | Corriente corto circuito I_{sc} | Eficiencia |
|-----------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------|
| 400 Wp | 41,7 V | 9,6 A | 49,8 V | 10,36 A | 20,17% |

Tabla 6 Especificaciones técnicas del panel solar ESPSC 400 M

Fuente: Elaboración propia

| Mes | Irradiación a 30° [kW/m ² día] | Producción de energía [Wh/día] |
|-------------------|--|--|
| Enero | 4,173 | HSP * Potencia panel: 4.173 x 400 = 1669.3 |
| Febrero | 4,203 | 1681,2 |
| Marzo | 5,454 | 2182,0 |
| Abril | 5,910 | 2364,4 |
| Mayo | 6,245 | 2498,2 |
| Junio | 6,161 | 2464,4 |
| Julio | 6,281 | 2512,6 |
| Agosto | 6,061 | 2424,7 |
| Septiembre | 5,669 | 2267,6 |
| Octubre | 5,236 | 2094,5 |
| Noviembre | 4,319 | 1727,8 |
| Diciembre | 3,970 | 1599.2 |

Tabla 7 Tabla de irradiación solar por mes del año 2020 de PVGIS. Fuente: Elaboración propia

Nota: Por definición, HSP coincide numéricamente con la irradiación solar diaria. Por ejemplo, en diciembre con 3,97 kWh/m² día, HSP es 3,97 horas pico/día

9.3.3 Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

Considerando al mes de diciembre más desfavorable, la energía eléctrica que se produciría con 1 panel de potencia pico 400 Wp sería: 1,59 kWh/día:

La demanda de energía diaria para bombeo es de 19,2 kWh/día, por lo que el número de paneles (NT) de 400 Wp será:

$$NT = \frac{E_{sistema}}{E_{panel}} = \frac{19,2 \text{ kWh/día}}{1,59 \text{ kWh/panel}} = 12 \text{ paneles}$$

Se debe aumentar el número de paneles en un 15% para absorber desviaciones, por lo que el valor final serán 14 paneles fotovoltaicos de 400 Wp. Se utilizará un arreglo de 7 paneles en serie conectado en paralelo a las 2 parejas previamente conectadas en serie.

Tensión en el punto de la potencia máxima del arreglo en serie:

$$V_{mpparreglo} = N * V_{mpppanel} = 7 * 41.7 = 291,9 \text{ V}$$

Tensión en corto circuito del arreglo en serie:

$$V_{ocarreglo} = N * V_{ocpanel} = 7 * 49.8 = 348,6 \text{ V}$$

Corriente en el punto de potencia máxima del arreglo en paralelo:

$$I_{mparreglo} = N * I_{mppanel} = 2 * 9,6 = 19,2 \text{ A}$$

Corriente de corto circuito del arreglo en paralelo:

$$I_{sc\text{arreglo}} = N * I_{sc\text{panel}} = 2 * 10,36 = 20,72 \text{ A}$$

Potencia nominal de los paneles con el arreglo serie paralelo:

$$P_{\text{max}} = 292,9 \text{ V} * 19,2 \text{ A} = 5,6 \text{ KW}_p$$

10. Depósito de almacenamiento

El depósito de almacenamiento será de 750 m³, lo que garantiza una reserva de riego suficiente para una parada de planta PV del orden de una semana (volumen de agua es algo superior al exigido en una operación de riego que se realiza entre 3 y 4 días, en concreto cada 3,75 días, es decir 8 veces al mes). El caudal diario será de 193.5 m³/día.

(Nota: en la práctica, podría sustituirse el depósito por una balsa de almacenamiento)

| Condiciones del depósito | |
|---|--------|
| Días sin generación FV | 2 días |
| Volumen por regar [m ³ /día] | 230 |
| Volumen de almacenamiento [m ³] | 750 |
| Altura del depósito [m] | 6 |

Tabla 8 Condiciones del depósito. Fuente:

Elaboración propia

| Características | |
|---------------------------|--|
| Material | Concreto con revestimiento geomembrana |
| Normativa | ISO 9001 |
| Largo y ancho [m] | 12 x 12 |
| Altura (m) | 6 |
| Volumen (m ³) | 750 |

Tabla 9 Características del depósito bajo la normativa ISO 9001.

Fuente: Elaboración propia

11. Condiciones del agua potable en la localidad de Miramar

El sistema EPS GRAU brinda el servicio de agua potable a la ciudad de Miramar y a los centros poblados Las Valencias, San Luis y La Bocana pertenecientes al distrito de Vichayal.

El sistema cuenta con un total de 9, 819 metros de líneas de conducción que derivan el agua desde la línea de conducción en Vichayal hasta la ciudad de Miramar y sus sectores de abastecimiento. (4)

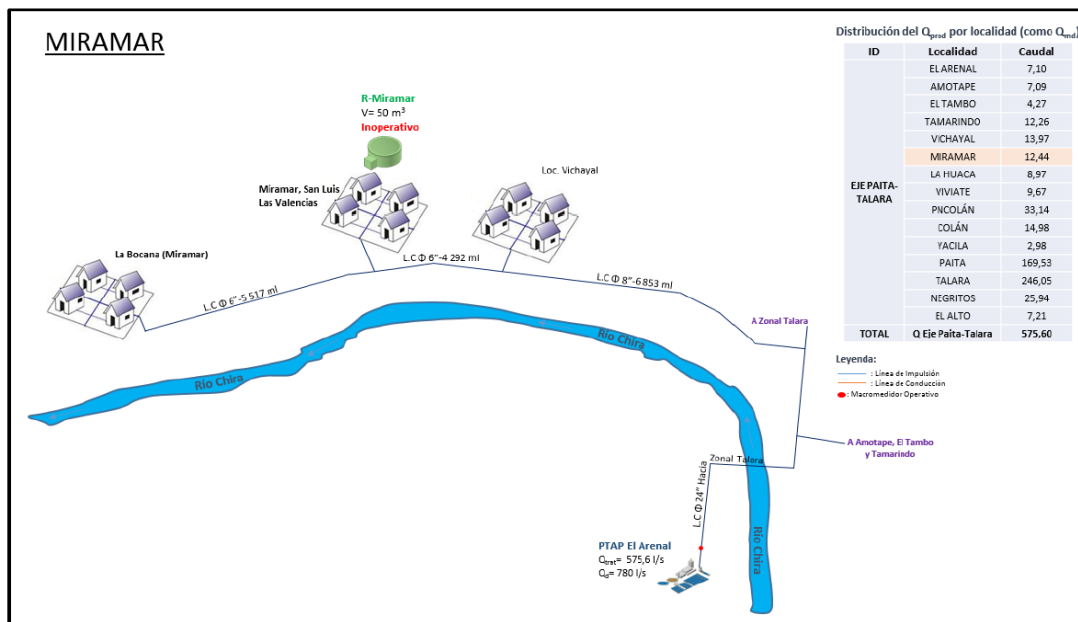


Figura 16 Sistema agua potable Miramar

Fuente: EPS GRAU S.A.

El servicio de agua potable presenta una serie de deficiencias, es muy vulnerable a eventos como lluvias intensas o crecidas del río Chira. El distrito se abastece del sistema agua del Arenal por medio de tuberías. Estas tuberías presentan puntos críticos que se cortan en los periodos de lluvias intensas y crecidas del río y/o quebradas. El punto crítico conocido como “Pasamayito”, es un lugar que ha ido sufriendo erosiones sistemáticas con las crecidas voluminosas del río y lluvias intensas a lo largo de los años. La tubería que transporta el agua al distrito de Vichayal es afectada cuando el río erosiona los cimientos de las columnas que sostienen las tuberías y las hacen colapsar. Esto sucedió durante el evento Niño costero las tuberías se dañaron en este punto y el servicio se interrumpió durante tres meses. Durante este periodo la población se abastecía de agua del río, la cual no es apta para consumo humano, pues al transportarse desde la parte alta hacia la parte baja de la cuenca recibe elementos contaminantes pertenecientes a las zonas agrícolas, fábricas, etc.

La red del servicio de agua es muy antigua, según los moradores, tiene alrededor de 30 años y fue construida para una población determinada en ese momento, la cual no se abastece completamente para la población actual. La red actual es de 8 pulgadas para abastecer a todo el distrito.

El centro poblado Miramar cuenta con una planta potabilizadora de agua del río, que fue donada por una ONG hace dos años después del Niño costero 2017. Es pequeña y permite cubrir parte de las necesidades de agua de este caserío. Miramar recibe agua 4 días a la semana.

CAPÍTULO III:
ANÁLISIS
ECONÓMICO DEL
SISTEMA DE
BOMBEO
FOTOVOLTAICO

12. Inversiones

El sistema de bombeo fotovoltaico cuenta con un presupuesto, el cual se detalla en la siguiente tabla.

| CANTIDAD | CONCEPTO | PRECIO UNITARIO (\$) | PRECIO TOTAL (\$) |
|----------|---|----------------------|-------------------|
| 1 | ESTRUCTURA SOPORTE: estructura galvanizada instalada sobre el suelo, 30° de inclinación. Incluye cimentación y tornillería. | 100 | 100 |
| 14 | MÓDULO FOTOVOLTAICO: módulo monocristalino de 72 células, potencia 400 Wp, garantía de fabricación 10 años, garantía de potencia 25 años al 80% de tolerancia. Incluida la instalación y conexionado. | 200 | 2800 |
| 1 | Bomba solar sumergible Lorentz PSK2-7 C-J42-3, debidamente instalada y conexionada. Potencia 8kW, 76m ³ /h y una altura máxima de 30 m | 1900 | 1900 |
| 1 | Sensores de presión para corte del sistema con el depósito lleno. | 150 | 150 |
| 1 | Tubería para bomba del pozo: 20 metros de tubería de polietileno DN80 3". Tapa de pozo y material para conexión. Instalación incluida. | 100 | 100 |
| 1 | Sensor de irradiancia para evitar el arranque de la bomba con baja intensidad de sol. Instalación incluida. | 520 | 520 |
| 1 | Controlador PSK2-7, Máximo voltaje de entrada 850 V y una corriente del motor de 13A. | 1075 | 1075 |
| | Total \$ | | 6645 |
| | Total, S/. (S/ 3.68 tipo de cambio) | | 24.436,99 |

Tabla 10 Presupuesto del sistema de bombeo fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia

13. Costos de otras soluciones no fotovoltaicas

Actualmente el Centro Poblado de Miramar utiliza los molinos de viento artesanales y motores-bomba para transportar el agua desde el canal. Los molinos de viento no funcionan sin la ayuda del campesino y su mantenimiento es constante.

Las características del motor-bomba de combustión posee una potencia de 6.5 HP = 4847.05 W (conversión 1 HP = 745.7 W)

El funcionamiento máximo del motor-bomba es por 5 h/día, generando un caudal de 54 m³/h y 230 m³/día para 20 ha de producción de plátano.

| CANTIDAD | CONCEPTO | PRECIO UNITARIO (\$) | PRECIO TOTAL (\$) |
|----------|--|----------------------|-------------------|
| 1 | Motobomba de potencia 54 m ³ /h 6.5HP | 800 | 800 |
| 1 | Tuberías flexibles de 3" | 150 | 150 |
| | Total \$ | | 950 |
| | Total, S/. (S/ 3.70 tipo de cambio) | | 3496,00 |

Tabla 11 Presupuesto del sistema motor-bomba de combustión.

Fuente: Elaboración propia

14. Rentabilidad económica

A continuación, se analizará el costo de un sistema fotovoltaico vs un sistema tradicional como una motobomba. La siguiente tabla presenta los requerimientos de la producción de plátano en la localidad de Miramar.

| |
|---|
| Producción de plátano 20 ha |
| 6000 m³ en un mes |
| Bombeo diario |
| 230 m³/día = 60 m³/h * 4 horas = 230 m³/día |

Tabla 12 Características de la producción de plátano 20ha.

Fuente: Elaboración propia

Las características del motor-bomba indican una capacidad del tanque de 3.4 L por 1.5 h, considerando el regado del sembrío por 5 horas para cumplir con el bombeo diario de 230 m³/día. Entonces considerando el costo del galón en Perú 3.6 L = 1 galón = S/ 22,00, el periodo de pago anual de la inversión sistema de bombeo fotovoltaico sería:

| Costo de gasolina por mes | Inversión del sistema de bombeo fotovoltaico | Total, de años de periodo de pago anual |
|---------------------------|--|---|
| S/ 2387,00 | S/ 24.437,00 | 11 AÑOS |

Tabla 13 Periodo de rentabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia

Analizando los cálculos de rentabilidad de la instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico se puede observar que en un periodo de once años se recuperaría la inversión de instalación a comparación de los altos costos de consumo de combustibles fósiles (gasolina 90 octanos) al año. (9)

15. Mujeres en el uso de sistemas de bombeo fotovoltaico

Las mujeres de la localidad de Miramar cumplen la labor de cuidar a sus hijos y encargarse de las actividades del hogar. Sus ingresos económicos se basan en la venta de dulces y productos de primera necesidad; además de souvenirs para los turistas.

Son las encargadas de dirigir el vaso de leche y juntas vecinales. Su nivel de educación es hasta la primaria y varias tienen compromisos y familia desde los 15 años.

Muchas de ellas no tienen aspiraciones profesionales porque la cultura es que sólo los varones asistan a la universidad y las mujeres sean amas de casa o enfermeras. Por tal motivo se considera las energías renovables una alternativa viable para formar técnicas con acceso a la agricultura.

Parte de la iniciativa es desarrollar talleres técnicos sobre la energía fotovoltaica, sus aplicaciones y un especial enfoque en las energías fotovoltaicas. Además de trabajar las habilidades blandas y de liderazgo de las señoras y señoritas. En promedio las mujeres que pueden participar están entre los 18 y 45 años.

El taller consta de 7 sesiones teóricas práctica, donde se verán temas como las energías renovables, la radiación solar, los paneles solares, las bombas centrífugas y los sistemas de bombeo fotovoltaicos.

Para la parte de habilidades blandas y liderazgo se pretende desarrollar metodologías de integración entre hombre y mujeres.

Los conocimientos adquiridos en estos talleres permitirán que ellas puedan implementar este sistema en localidades cercanas y aumentar un ingreso económico a sus hogares. Además, se busca establecer un mantenimiento para estos sistemas y que ellas los ejecuten.

Parte de la propuesta es contar con la participación del estado peruano para brindarles un certificado a nombre de la nación peruana; así certifica el nivel de estudios para el trabajo.

16. Conclusiones

1. Un sistema de bombeo fotovoltaico en el Centro Poblado de Miramar para 20 hectáreas de producción de plátano está conformado por 14 paneles fotovoltaicos de 400 Wp, una bomba de 76 m³/h, un motor de corriente alterna de 5.5 kW y un controlador/inversor de 8 kW. Este sistema funcionara como mínimo a una hora solar pico de 3,97; siendo la referencia el mes de diciembre del 2020.
2. La instalación del sistema de bombeo se recuperará en 11 años comparando el costo actual del combustible gasolina 90 octanos. Esto nos muestra el impacto económico que tienen las energías fotovoltaicas frente a los fósiles.
3. El irradiación solar de un panel solar a 30° instalado en el Centro Poblado de Miramar es menor en los meses de enero, noviembre y diciembre, entre un rango de 3,9 kW/m² día – 4,17 kW/m² día y la máxima irradiación se presenta en mayo 6,2 kW/m² día. Entonces, se puede determinar las horas solar pico que van desde 3,9 a 6,3; siendo un valor óptimo para una instalación fotovoltaica.
4. La participación de las mujeres es muy importante en el proyecto porque la capacitación de instalación y mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico permitirá generar trabajos e ingresos a las familias del Centro Poblado de Miramar.

17. Recomendaciones

1. A partir del software PVsyst se puede obtener un reporte de simulación de la eficiencia del sistema de bombeo fotovoltaico y la bomba centrífuga. Además de la cantidad de agua bombeada, las pérdidas de agua y el agua necesaria anualmente para el riego de las parcelas. Esto permitirá establecer el correcto dimensionamiento del sistema para su implementación en la localidad de Miramar.

18. Bibliografía

- (1) Abella, M. A. (2015). Sistemas de bombeo fotovoltaico.
- (2) Agut, A. C. (2004). Instalación de riego con bombeo solar fotovoltaico en Benlloch (Issue October).
- (3) Arenal, E. L., & Colan, P. N. (2009). GESTIÓN DEL AGUA PARA RIEGO EN EL ÁMBITO DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN LUCAS DE COLAN - PAITA. 1–51.
- (4) C, Teodora M, B. (n.d.). Promover el fortalecimiento de recurso hídrico en el Centro Programa de Liderazgo de Mujeres para la gestión del agua.
- (5) Ciemat. (n.d.). Sistemas fotovoltaicos autónomos.
- (6) De Mola, A., Quijandría, J., & Campos, R. (2003). Atlas de energía solar del Perú.
http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/80bib_arch.pdf
- (7) Energía, G. (n.d.). BOMBEO SOLAR DIRECTO con bomba lorentz.
- (8) Fernández, M. J. G. (2021). Diseño de un sistema fotovoltaico para aplicaciones de regadío.
- (9) González Dávila, L. E., & Lanuza Centeno, Á. R. (2018). Propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción comarca Ato viejo San Nicolás – Estelí, durante el periodo de julio a noviembre del 2017. Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, 53.
- (10) International, S. E. (2016). Módulos FV (pp. 1–26).
- (11) Chunga, I. (2020). Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4787>
- (12) Uzquiano, C., Sullivan, M., & Sandy, X. (2015). Capacitación e intalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del emero y yolosani.
<http://energiayambienteandina.net/pdf/WCS - CAPACITACION E INSTALACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.pdf>
- (13) Campos, A. (2012). Sistema de energía solar fotovoltaica aislado para una estación de bombeo. <http://hdl.handle.net/10016/16841>
- (14) Chunga, I (2021). Estudio de factibilidad de un sisteam de bombeo fotovoltaico de agua para riego agrícola en el centro poblado de Mirarmar - Paita, Perú. UNIBA
- (15) Atersa. (2011). Bombeo directo mediante energía solar. <https://docplayer.es/17812025-Er-0979-1-97-smp-pompage-pmp-400-fecha-ultima-revision-22-11-11.html>

19. Anexos

Ficha técnica del panel solar





ESPSC

Monocrystalline Solar Module

- Q High-quality**
With 72 cells and 5 bypass diodes in power classes from 380 to 400 Wp for grid connected systems.
- \$ Reliable**
The high quality level of ERA SOLAR guarantees long life-time and high earnings.
- kg Solid**
An Aluminium hollow-chamber frame on each side combined with low-iron and tempered solar glass ensures high load capacity resistance.
- Wp Performance guarantee**
ERA SOLAR grants a power guarantee of 90% of nominal power output up to 10 years and 80% up to 25 years.

| | | | | | | | |
|----------|--------------------------|-----------|------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|
| + | WATTS POSITIVE TOLERANCE | 10 | YEARS PRODUCT WARRANTY | 10 | YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90% | 25 | YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80% |
|----------|--------------------------|-----------|------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|

Ficha técnica del motor y la bomba centrífuga



PSk2-7 C-SJ42-3

Solar Submersible Pump System for 6" wells

System Overview

| | |
|-----------|---------------------------|
| Head | max. 30 m |
| Flow rate | max. 76 m ³ /h |

Technical Data

Controller PSk2-7

- High efficiency solar pump controller
- Hybrid power (solar / grid / generator) support with LORENTZ SmartSolution
- Inputs for water meter, pressure sensors, digital switches
- Simple configuration with LORENTZ PumpScanner Android™ App
- Onboard data logging and system monitoring
- Inbuilt applications for constant pressure, constant flow and daily amount
- Integrated Sun Sensor
- Active temperature management
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

| | |
|-----------------|-------------|
| Power | max. 8,0 kW |
| Input voltage | max. 850 V |
| Optimum Vmp** | > 575 V |
| Motor current | max. 13 A |
| Efficiency | max. 98 % |
| Ambient temp. | -30...50 °C |
| Enclosure class | IP54 |

Motor AC DRIVE SUB 6" 5.5kW

- Highly efficient 3-phase AC motor
- Frequency: 25...52 Hz
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- No electronics in the motor

| | |
|------------------|-------------------|
| Motor speed | 1 400...2 965 rpm |
| Power factor | 0,88 |
| Insulation class | F |
| Enclosure class | IP68 |
| Submersion | max. 300 m |

Pump End PE C-SJ42-3

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PUK2-7 C-SJ42-3 (Motor, Pump End)

| | |
|-------------------|-------------|
| Borehole diameter | min. 6,0 in |
| Water temperature | max. 30 °C |

Standards



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC



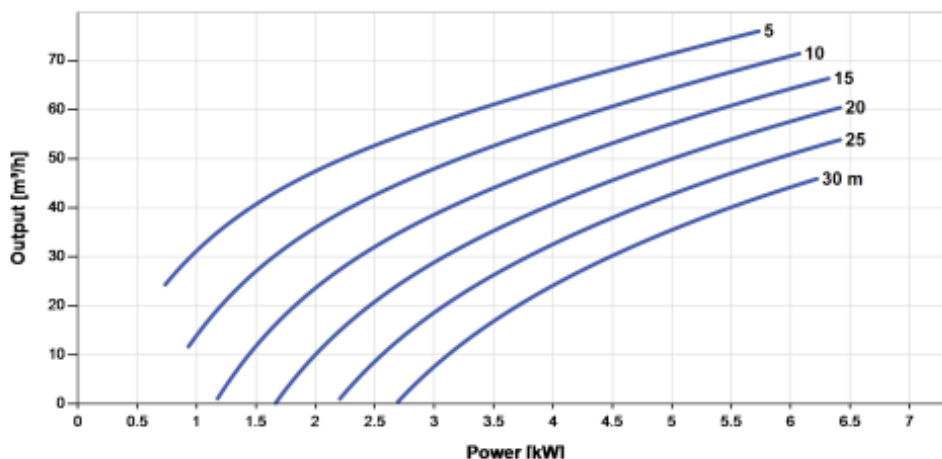


PSk2-7 C-SJ42-3

Solar Submersible Pump System for 6" wells

Pump Chart

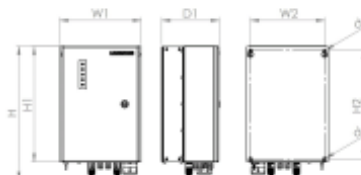
Vmp* > 575 V



Dimensions and Weights

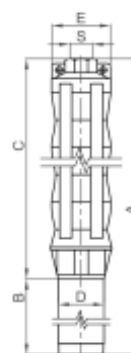
Controller

- H = 500 mm
- H1 = 450 mm
- H2 = 421 mm
- W1 = 320 mm
- W2 = 290 mm
- D = 9,0 mm
- D1 = 226 mm



Pump Unit

- A = 1 354 mm
- B = 750 mm
- C = 604 mm
- D = 143 mm
- E = 147 mm
- S = 3 in



| | Net weight |
|------------|------------|
| Controller | 18 kg |
| Pump Unit | 61 kg |
| Motor | 48 kg |
| Pump End | 13 kg |

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg,
 Germany, Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.95
 All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.

Sun. Water. Life.

Ficha técnica de motobomba autocebante



CÓDIGO: 26063 CLAVE: MOTB-3P

Motobomba autocebante 3" x 3" a gasolina 6-1/2 HP, Pretul

- Ideal para sistemas de riego, bombeo de pozos, agricultura y construcción. Para zonas de difícil acceso a electricidad
- Se utiliza para trasladar grandes cantidades de agua limpia
- Altura máxima de bombeo: **25 m**
- Flujo máximo: **900 L/min**
- Máxima profundidad de succión: **5 m**
- Sensor de nivel bajo de aceite
- Precaución: antes de arrancar, agregar aceite de 4 tiempos en el depósito de aceite
- Carcasa de aluminio e impulsor de hierro



Motor OHV a 4 tiempos de alto desempeño. No requiere mezcla de aceite y gasolina



Arranque manual (cuerda retráctil)



Para agua limpia



USO AGRÍCOLA[®]
Sin I.V.A.

Certificaciones y garantías





Especificaciones

| | |
|--|-------------------|
| Potencia | 6 1/2 HP |
| Altura máxima de bombeo | 25 m |
| Flujo máximo | 900 L/min |
| Máxima profundidad de succión | 5 m |
| Diámetro de Entrada / Salida | 3" (75 mm) |
| Duración del tanque con 100% de carga | 1.5 horas |
| Capacidad del tanque | 3.4 L |
| Velocidad sin carga | 3,650 - 3,700 rpm |
| Cilindrada del motor | 212 cc |
| Dimensiones (Base x Altura x Fondo) | 50 x 44 x 38 cm |
| Peso | 22 kg |
| Empaque individual | Caja |
| Inner | 1 |

Refacciones y/o accesorios

| Código | Clave | Descripción |
|--------|------------|--|
| 100865 | M35D | Rollo de manguera plana de 3" x 50m de descarga p/motobomba |
| 100866 | M310D | Rollo de manguera plana de 3" x 100m de descarga p/motobomba |
| 101040 | M33S | Metro manguera rígida 3" succión para motobomba, rollo 30 m |
| 101135 | TAPOA-MOTO | Kit de tapón y empaque para contenedor de aceite p/motobomba |
| 101136 | BUJI-MOTO | Bujía para motobomba, Truper |
| 101137 | BAYO-MOTO | Kit de bayoneta y empaque para motobomba, Truper |
| 101138 | TAPOG-MOTO | Tapón de gasolina para motobomba, Truper |
| 101139 | FILG-MOTO | Filtro de gasolina para motobomba, Truper |
| 101151 | CON-MOTO3 | Kit de conector de descarga para MOTB-3, Truper |