

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
PARA RIEGO AGRÍCOLA EN EL CASERÍO LA GUAYABA,
DISTRITO DE BELLAVISTA, JAÉN – CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : Bach. Javier Dávalos Pongo

Asesor : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

JAÉN-PERÚ, JULIO, 2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 04 de Julio del año 2019, siendo las 8:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: **M. Sc. ING. WALTER LINDER CABRERA TORRES**

Secretario: **Ing. HERLESS HENYER ALBERCA VÁSQUEZ**

Vocal: **M. Sc. LENIN FRANCHESCOLETH NÚÑEZ PINTADO**, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
() Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA RIEGO AGRÍCOLA, EN EL CASERÍO LA GUAYABA, DISTRITO DE BELLAVISTA, JAÉN – CAJAMARCA"**, presentado por Estudiante/Egresado o Bachiller **JAVIER DÁVALOS PONGO** de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- () Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (<u>16</u>) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 5:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



M. Sc. ING. WALTER LINDER CABRERA TORRES
Presidente Jurado Evaluador



Ing. HERLESS HENYER ALBERCA VÁSQUEZ
Secretario Jurado Evaluador

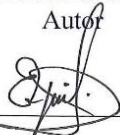


M. Sc. LENIN FRANCHESCOLETH NÚÑEZ PINTADO
Vocal Jurado Evaluador

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN EL CASERÍO LA GUAYABA, DISTRITO DE BELLAVISTA, JAÉN – CAJAMARCA”



Bach. Javier Dávalos Pongo
Autor



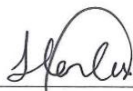
Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez
Asesor

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

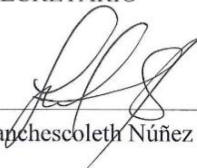
Aprobado por:



M.Sc.Ing. Walter Linder Cabrera Torres
PRESIDENTE



Ing. Herless Henyer Alberca Vásquez
SECRETARIO



M.Sc. Lenin Franchescoletti Núñez Pintado
MIEMBRO

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres, Isidro Dávalos Aguirre y María Faustina Pongo Aponte por su apoyo constante y amor infinito, quienes son los pilares para seguir cumpliendo mis metas.

AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios, y al ingeniero Eduar Jamis Mejía Vásquez, quien me brindo su tiempo y orientación para desarrollar este proyecto.

INDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	ix
Abstract.....	x
I. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática	3
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Justificación e importancia	4
1.4.1. Justificación social.....	4
1.4.2. Justificación ambiental	5
1.4.3. Justificación económica.....	5
II. Objetivos	7
2.1 Objetivo general.....	7
2.2 Objetivos específicos	7
2.3 Hipótesis	7
III. Materiales y metodos.....	8
4.1 Tipo de investigación empleada	8
4.2 Caracterización del recurso solar	8
4.2.1 Ubicación geográfica.....	8
1.4.1. Radiación solar disponible en la zona del proyecto	8
4.2.2 Horas sol pico (HSP)	10
4.2.3 Orientación e inclinación.....	11
4.3 Determinar la demanda energética.....	12
4.3.1 Determinar la demanda hídrica	12
4.3.2 Determinación de la altura total equivalente	13
4.3.3 Cálculo de la energía hidráulica	15
4.3.4 Cálculo de la potencia eléctrica de la motobomba	16
4.3.5 Calculo de la energía necesaria para el dimensionamiento del generador	16
4.4 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo de agua.....	17
4.4.1 Calculo de la potencia del generador.....	17
4.5 Calculo del caudal pico que debe soportar la bomba.....	18

4.5.1	Calculo del número de paneles	20
4.5.2	Sistema de almacenamiento	21
4.5.3	Subsistema de regulación	24
4.5.4	Calculo de sección del conductor eléctrico	27
4.5.5	Topología del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado.....	27
1.4.1.	Análisis técnico - económico.....	29
IV.	Resultados.....	34
V.	Discusión.....	37
VI.	Conclusiones y recomendaciones	39
VII.	Referencias bibliográficas	41

Lista de Tablas

Tabla 1. Radiación promedio mensual en la zona de estudio (kWh/m ² /día).....	9
Tabla 2. Requerimiento hídrico de la yuca por etapa del ciclo fenológico	13
Tabla 3. Valores referenciales para la tensión del sistema en función de la potencia.....	18
Tabla 4. Costo de inversión del proyecto	30
Tabla 5. Valor Anual Neto del Proyecto	31
Tabla 6. Flujo de caja proyectado a 20 años	32
Tabla 7. Tasa interna de retorno del proyecto	33
Tabla 8. Especificaciones técnicas de diseño de la motobomba	34
Tabla 9. Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos	35
Tabla 10. Especificaciones técnicas del regulador de carga.....	35
Tabla 11. Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento.....	35
Tabla 12. Evaluación Económica	36

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la Parcela.....	9
Figura 2. Comportamiento de la radiación solar promedio con distintas inclinaciones.....	10
Figura 3. Concepto de horas sol pico (HSP)	11
Figura 4. Orientación del panel fotovoltaico, ángulo de inclinación, incidencia e azimut	11
Figura 5. Variables de la altura total equivalente	14
Figura 6. Curvas características de la bomba PS1800 C-SJ8-7.....	19
Figura 7. Topología del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado	28

Lista de anexos

ANEXO 1. Ficha técnica de la motobomba seleccionada

ANEXO 2. Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos seleccionados

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego de una hectárea de yuca en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca. El sistema de bombeo existente funciona con un motor de combustión interna, generando altos costos de operación y mantenimiento, así como también contaminación ambiental. Por lo tanto surge la alternativa de utilizar energía solar fotovoltaica para bombeo de agua con fines de riego agrícola. En el documento se muestra la evaluación y caracterización del recurso solar disponible para diferentes ángulos de inclinación con datos obtenidos del aplicativo de la NASA, obteniendo como resultado 3,71 kWh/m²/día de radiación solar y un ángulo óptimo de 7,5°. También presenta la demanda energética del sistema de bombeo, con una necesidad hídrica de 40 m³/día se requirió 3117,4 Wh/día de energía hidráulica. La elección de la motobomba se realizó en función al caudal pico y la altura total, seleccionando una motobomba solar de corriente continua modelo PS1800 C-SJ8-7. Se seleccionaron 16 paneles fotovoltaicos del tipo LC100-M36, 8 paneles en serie y 2 en paralelo para satisfacer la potencia de generación de 1,72 kW. La evaluación económica resultó con un VAN de \$ 15 976,67 y un TIR 9%.

Palabras claves: Diseño, energía solar, sistema de bombeo, fotovoltaico, riego agrícola.

ABSTRACT

This research aims to design a photovoltaic pumping system for irrigation of one hectare of cassava in La Guayaba hamlet, Bellavista district, Jaen – Cajamarca. The existing pumping system operates with an internal combustion engine, generating high operating and maintenance costs, as well as environmental pollution. Therefore, arises the alternative of using solar photovoltaic energy for pumping water for agricultural irrigation purposes. The research shows the assessment and characterization of the available solar resource for different tilt angles with data obtained from the NASA application, obtaining as a result 3,71 kWh/m²/day of solar radiation and an optimal angle of 7,5 degrees. It also presents the energy demand of the pumping system, with a water requirement of 40 m³/ day, it required 3117,4 Wh / day of hydraulic energy. The choice of the motor pump was made based on peak flow rate and total height, selecting a direct current solar motor pump model PS1800 C-SJ8-7. 16 photovoltaic panels of type LC100-M36 were selected, 8 panels in series and 2 in parallel to satisfy the calculated generation power of 1.72 kW. The economic assessment resulted with an NPV of \$ 15976.67 and a TIR of 9%.

Keywords: Design, solar energy, pumping system, photovoltaic, agricultural irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La aplicación de la energía solar fotovoltaica con fines de riego agrícola puede ser la solución más económica en lugares aislados de la red, y cuando la demanda es pequeña y la utilización de grupos electrógenos resulta más costosa. Por lo tanto Valer, Moura de Moraes, Morante, Zilles y Fedrizzi (2014) afirma:

las parcelas de cultivo están distantes de los hogares y en muchos casos se ha dado que en las comunidades, a pesar de tener electricidad en el hogar, no la pueden utilizar en las actividades productivas ya que la red eléctrica está lejos de los lugares de producción como huertas, bebederos de animales, etc. Debido a su costo cada vez más competitivo y sus características de autonomía y modularidad, la tecnología solar fotovoltaica podría suministrar electricidad para extraer agua de fuentes subterráneas. (p.04.93)

Esto hace que sea más interesante la implementación de sistemas de bombeo solar fotovoltaico para parcelas de cultivo que necesiten agua para mejorar su producción. Y para que el pequeño agricultor conozca los beneficios del uso de los recursos renovables, como es el bombeo solar fotovoltaico aplicado a la agricultura. Andrade y Quispe (2016) recomienda:

La aplicación de este tipo de proyecto de generación de energía eléctrica con sistemas de generación no convencionales en zonas rurales aisladas de la región Puno, por ser una energía totalmente limpia y que su uso en las actividades agrícolas, ganaderas y electrificación rural trae mayor progreso económico y social a zonas de escasos recursos económicos. (p.188)

Este tipo de sistema de bombeo fotovoltaico transforma la energía de los fotones de la luz primero en energía eléctrica, después en energía mecánica de tipo cinético y finalmente en energía hidráulica acumulada en un volumen de agua elevado a una cierta altura (De Juana, Santos, Crespo, Herrero, de Francisco y Fernandez, 2009).

Para el diseño del bombeo de agua solar fotovoltaico se necesita conocer fundamentalmente la demanda hídrica requerida y la radiación solar disponible. Para determinar la demanda hídrica se considera la extensión agrícola, tipo de cultivo y tipo de riego correspondiente al mes de mayor consumo de agua (Farfan, 2018).

Para determinar los niveles de radiación existentes en la zona, se utilizó la data existente proveniente de la página Web de la Nasa y el software especializado del fabricante con el cual se trabajó (Campos, 2018).

La experiencia de algunos investigadores deja constancia de algunos parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de bombeo solar fotovoltaico.

El diseño del sistema de bombeo FV evaluado con una eficiencia de 24.95%, sirve para suministrar agua a 7 cultivos seleccionados. La mejor alternativa es el riego continuo en el maíz, trigo y hortalizas bajo riego por goteo a parcelas agrícolas de 3,400 m², bajo las condiciones climáticas de la zona durante los meses de Abril a Setiembre, que es la época de estiaje y de mayor radiación durante el todo día. (Asmat, 2018, p.75)

Entonces los alcances que se pretenden lograr con esta investigación es caracterizar el recurso solar disponible en la zona del proyecto, luego analizar la demanda energética del sistema de bombeo solar fotovoltaico, posteriormente dimensionar el sistema fotovoltaico de bombeo de agua y finalmente evaluar técnica y económicamente el proyecto de investigación.

Hay limitaciones con respecto al método con el que se va a regar el cultivo. Esta investigación solo abarca hasta el almacenamiento del recurso hídrico satisfaciendo la demanda de 1 hectáreas de cultivo, principalmente yuca.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad a nivel nacional, el bombeo de agua subterránea con fines de riego agrícola, generalmente se hace empleando motores de combustión interna y bombas hidráulicas instalados en pozos ya sea tubulares o a tajo abierto, cuyos motores en su mayoría están sobre dimensionados, y utilizan como principal fuente de energía los combustibles fósiles (petróleo, gasolina), originando altos costos de precio, operación y mantenimiento al sistemas de bombeo, adicionando a esto la contaminación atmosférica local debido a la emisión de gases tóxicos por la quema de dichos combustibles (CO₂, SO₂, NO_x, Pb). (Farfán, 2018, p.1)

Existen varios tipos de generación de energía como fuente principal para bombear agua subterránea, dentro de ellas se encuentra la energía eléctrica convencional que es una buena alternativa, pero al encontrarse las parcelas muy alejadas de la red eléctrica dificultan su aplicación. Entonces de manera muy tentativa, ecológica y principalmente económica se pretende utilizar la energía solar fotovoltaica, ya que es una energía renovable que está presente todo año y lo mejor de todo que es gratis.

Entonces la generación de energía solar fotovoltaica a partir de radiación solar, constituye una alternativa muy importante para aumentar la eficiencia y reducir el consumo de los recursos en un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego agrícola. Porque se puede instalar en lugares remotos y de difícil acceso cerca al centro de carga y así poder generar energía fotovoltaica de pequeña y mediana potencia según lo requiera la demanda energética.

El lugar de estudio cuenta con un sistema de bombeo de agua equipado con un motor de combustión interna y una bomba, lo cual genera altos costos de operación y

mantenimiento. Por lo tanto se hace interesante analizar la alternativa de generar energía solar fotovoltaica donde se requiere satisfacer la demanda energética del sistema al menor costo posible.

El presente trabajo tiene como objetivo general diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén – Cajamarca, y pueda servir como modelo para futuras investigaciones en la región. En el documento se muestra la caracterización del recurso solar disponible en la zona del proyecto, con datos obtenidos del aplicativo de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*), estimación de la demanda energética del sistema de bombeo fotovoltaico, y el diseño de cada uno de sus componentes del sistema de bombeo. Al final se incluyen, la evaluación técnica y económica del proyecto.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para una hectárea de riego agrícola en el caserío la Guayaba, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén - Cajamarca?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Según el Comité de Operación Económica del Sistema (COES) de enero del 2017, en su informe mensual de matriz energética del Perú. Las energías renovables como la eólica y solar contribuyen escasamente con el 1,4 % y 0,4 % respectivamente a la fuente de generación de energía eléctrica a nivel nacional. Por lo tanto considero que debe reforzarse la política de gobierno respecto al uso de las energías renovables y de manera específica la energía solar, otorgándose créditos a pequeños agricultores y regantes a fin de adquirir paneles fotovoltaicos y bombas solares en sus proyectos de elevación de agua para fines agrícolas, pecuario y de consumo humano (Farfan, 2018).

Esta investigación es necesaria para mejorar la calidad de vida del pequeño agricultor y de su familia, obteniendo beneficios como mayor cantidad y calidad de producción y a su vez mejores ingresos. Los beneficiarios directos de este proyecto son los dueños de la parcela y toda la comunidad de la Guayaba por que servirá como modelo a seguir, obteniendo resultados muy favorables a medio y a largo plazo.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

De acuerdo al decreto legislativo N° 1002-2008 del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) que promueve la inversión para la generación de electricidad con el uso de Recursos Energéticos Renovables. Donde argumenta que la opción más limpia y beneficiosa es promover una parte importante de dicha oferta con energías renovables, en lugar de la generación de electricidad con derivados del petróleo y gas natural, por ser estas fuentes no renovables y contaminantes.

Por lo tanto esta investigación es necesaria porque en la zona del proyecto el bombeo de agua se hace con un motor alimentado con combustible diésel el cual emite gases tóxicos (CO₂, SO₂, NO_x, Pb) al quemar dicho combustible, adicional a esto el mal manejo de almacenamiento del combustible hace que se derrame a la hora de alimentar el motor, contaminando también el suelo. El aceite que utiliza para lubricar sus engranajes y el sonido que emite a la hora de combustionar también contaminan el medio ambiente.

Ante esta problemática su propone utilizar energía solar fotovoltaica para bombeo de agua subterránea, con fines de riego agrícola. Ya que es una energía limpia, insonora, y lo mejor que está presente todo el año.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La energía que alimentará al sistema de bombeo solar fotovoltaico es inagotable para el tiempo de vida del mismo y lo mejor de todo, que es gratis y hay todos los días. Por lo tanto, lo único que costaría sería los componentes de dicho sistema. El sistema

existente quema combustible diésel para obtener energía eléctrica y a su vez bombear agua del sub suelo elevando los costos de producción cada año. Mientras tanto el sistema propuesto como todo proyecto de ingeniería tiene su costo inicial alto, pero pos ejecución del mismo el costo por mantenimiento es mínimo.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén – Cajamarca.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el recurso solar disponible en la zona del proyecto.
- Determinar la demanda energética.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico de bombeo de agua.
- Evaluar técnica y económica el proyecto.

2.3 HIPÓTESIS

La radiación solar y el caudal del agua, influye en el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico para riego en el caserío la Guayaba distrito de Bellavista, Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN EMPLEADA

Por la naturaleza de los objetivos, y la metodología utilizada en la presente investigación es de tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptiva y un diseño de la investigación campo gabinete (no experimental).

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El lugar de estudio de esta investigación tiene las siguientes coordenadas latitud -5, 515159693 S y longitud -78,62235382 W y está ubicada en el caserío la Guayaba perteneciente al distrito de Bellavista a 30 minutos del mismo, a orillas del río Chinchipe. En la figura 1, se presenta la ubicación geográfica de la parcela.

3.2.2 RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE EN LA ZONA DEL PROYECTO

Las coordenadas de latitud y longitud convertidas a grados, se ingresan al aplicativo National Aeronautics and Space Administration (NASA), del sitio web de recursos energéticos (meteorología superficial y energía solar), y se obtiene la radiación promedio mensual de la zona del proyecto en la tabla 1.

En la tabla 1, se puede observar la radiación promedio mensual y media anual en la zona de estudio para distinto ángulos de inclinación. Y para el diseño de bombeo solar fotovoltaico funcione cuando la radiación sea escasa, se tiene que determinar el mes que recibe menos radiación solar y comparar con todos los ángulos inclinación de la tabla 1, evaluando cuál de todos estos tienen el número más alto de radiación solar. Además se tienen que tener en cuenta “que los paneles

Tabla 1. Radiación promedio mensual en la zona de estudio (kWh/m²/día)

Lat. -5,39 Lon. -78,42	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media Anual
$G_{dm}(0^\circ)$	4,09	3,70	4,19	4,19	4,26	4,18	4,30	4,60	4,91	4,88	5,10	4,56	4,41
$G_{dm}(5^\circ)$	4,13	3,71	4,18	4,23	4,37	4,31	4,42	4,69	4,93	4,90	5,16	4,62	4,47
$G_{dm}(20^\circ)$	4,13	3,64	4,05	4,24	4,54	4,58	4,66	4,79	4,83	4,77	5,16	4,65	4,50
$G_{dm}(90^\circ)$	2,11	1,73	1,57	2,05	2,62	2,89	2,81	2,45	1,86	1,80	2,35	2,41	2,22

Fuente. Elaboración propia. Datos NASA (2019)

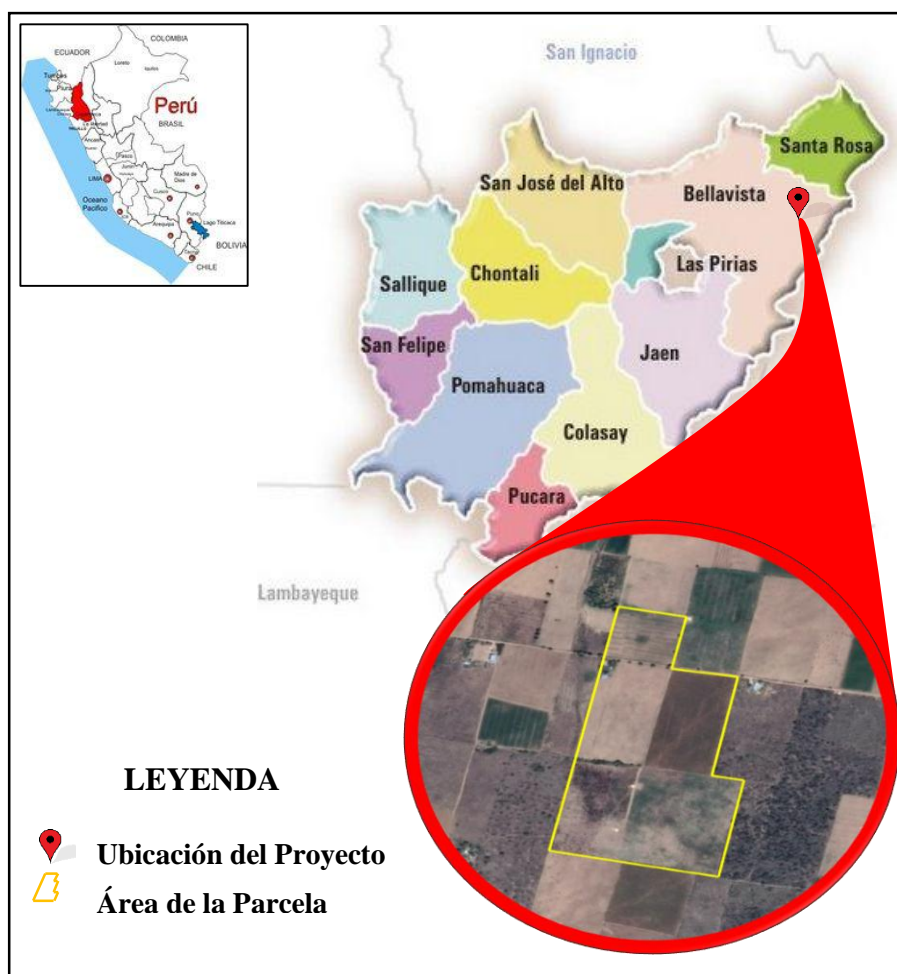


Figura 1. Ubicación de la Parcela

Fuente. Elaboración Propia

fotovoltaicos deben tener al menos un ángulo de inclinación de 15°,...Para favorecer de este modo su auto limpieza y evitar que elementos como hojas, polvo cubran el panel” (Mejía,2018, p.51). Por lo tanto, se ha seleccionado el mes de febrero que

recibe como promedio mensual 3,71 kWh/m²/día y 3,64 kWh/m²/día de los ángulos de inclinación 5° y 20° respectivamente.

En la figura 2, se presenta a través de un gráfico de barras el comportamiento de la radiación solar promedio de los ángulos de inclinación G_{dm} 5° y G_{dm} 20° respectivamente, donde se puede apreciar el mes más desfavorable y el mes con mayor incidencia solar.

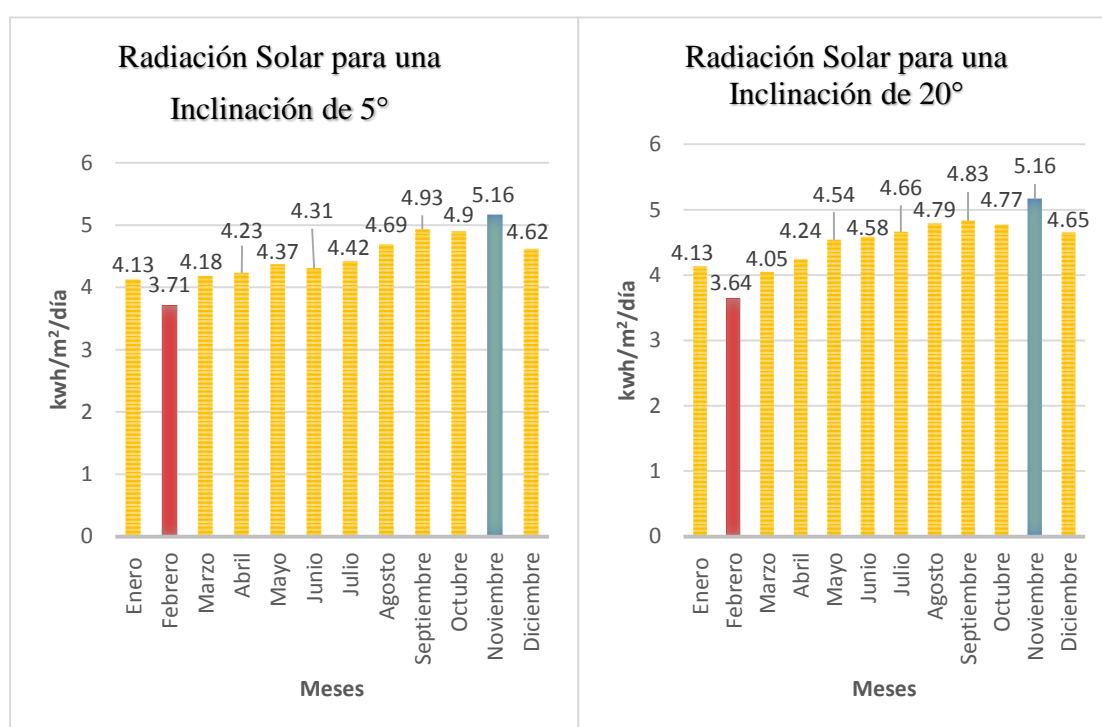


Figura 2. Comportamiento de la radiación solar promedio con distintas inclinaciones

Fuente. Elaboración propia. Datos NASA (2019)

3.2.3 HORAS SOL PICO (HSP)

Son el promedio de horas de sol que se puede aprovechar en el transcurso del día, para generar la suficiente energía que pueda ser aprovechada por los paneles solares. La radiación promedio óptima que llega a la tierra es de 1 000 w/m², y el número de horas de sol pico es equivalente a la insolación solar promedio diario. El caserío la Guayaba (zona de estudio) recibe 3,71 kWh/m²/día para un ángulo de inclinación de 5° en el mes menos favorable que corresponde a febrero. Entonces se puede afirmar que la zona de estudio recibió 3,71 horas de sol al día a 1 000 W/m².

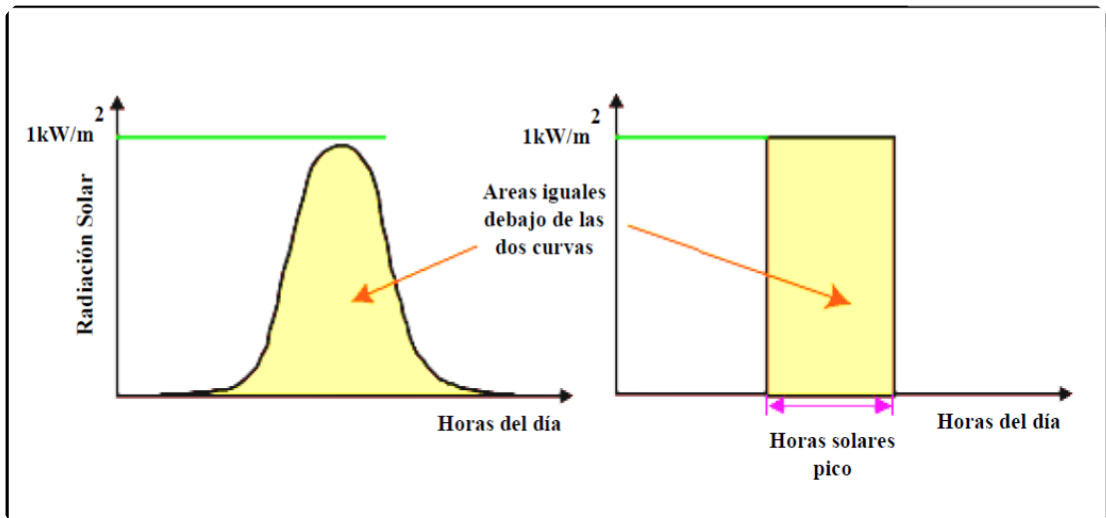


Figura 3. Concepto de horas sol pico (HSP)

Fuente. Mejía (2018)

3.2.4 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

La orientación de los paneles solares depende del lugar donde se pretenda instalarlos, la zona de estudio está ubicada al sur oeste del meridiano de Greenwich, entonces la orientación de los paneles debe de ser siempre mirando hacia el norte. Y el ángulo de inclinación óptimo se calcula con la ecuación (1) (Mejía, 2018).

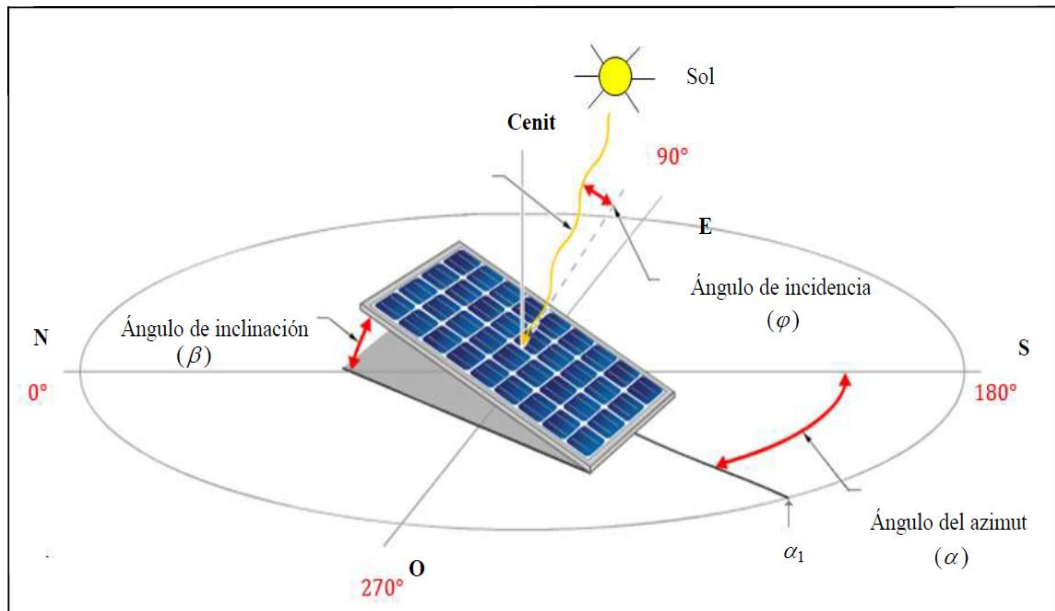


Figura 4. Orientación del panel fotovoltaico, ángulo de inclinación, incidencia e azimuth

Fuente. Mejía (2018)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69x|\phi| \quad (1)$$

Donde:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo (grados)

$|\phi|$ = Latitud del lugar, sin signo (grados).

Entonces, como la latitud de la zona de estudio es de 5,51, se reemplazara en la ecuación (7). Obteniendo un ángulo óptimo de 7,5°.

Como resultado del recurso solar disponible para el diseño del sistema fotovoltaico tenemos 3,71 kWh/m²/día, un ángulo óptimo de inclinación de 7,5° y 3,71 horas de sol pico (HSP).

3.3 DETERMINAR LA DEMANDA ENERGÉTICA

Para el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico es de mucha importancia conocer la demanda hídrica y la altura total equivalente para así poder seleccionar la motobomba y dimensionar el sistema fotovoltaico.

3.3.1 DETERMINAR LA DEMANDA HÍDRICA

Según Fernández y Cerrato (2017) en su cartilla tecnológica del cultivo de yuca en el litoral atlántico de honduras, la yuca pasa por cuatro fases fenológicas y cada una de estas fases tiene un periodo de tiempo, así mismo, una necesidad hídrica.

En la tabla 2, se presenta el requerimiento hídrico detallado de la yuca por etapa del ciclo fenológico. Para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico se tiene que escoger la fase donde la necesidad hídrica sea mayor. Como la parcela cuenta con un área de 10 000 m² (01 hectárea) la demanda hídrica (caudal) será de 40 m³/día.

Tabla 2. Requerimiento hídrico de la yuca por etapa del ciclo fenológico

Etapas Fenológicas	días	¹ ETo (mm/día)	² Kc	Necesidades Hídricas litros/m²/día
Fase I: Brotación	30	5	0,3	1,5
Fase II: Crecimiento Vegetativo	120	5	0,3-0,8	1,5 – 4,0
Fase III: Acumulación de carbohidratos	90	5	0,8	4
Fase IV: Recolección	30	5	0,3	1,5

1 ETo Evapotranspiración de referencia

2 Kc Coeficiente de cultivo de la yuca

Fuente. Elaboración Propia tomada de Fernández y Cerrato (2017)

El número de horas de sol pico (HSP) durante un día es de 3,71 horas, en el cual se tienen que bombear 40 m³ de agua, por lo tanto el caudal de bombeo será de 10,78 m³/h o de 2,983x10⁻³ m³/seg.

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA TOTAL EQUIVALENTE

La altura total equivalente viene determinada por la ecuación (2). Donde se suman las distancias desde el abatimiento del pozo hasta el reservorio.

$$H_{TE} = H_e + A_p + H_r + H_f \quad (2)$$

Donde H_{TE} altura total equivalente (m), H_e altura estática (m), A_p altura por abatimiento del pozo (m), H_r altura del reservorio (m), y H_f altura por pérdidas de fricción (m). En la figura 5, se presenta su grafica respectiva.

En la parcela de cultivo (lugar del proyecto) cuenta con un pozo de 1,20 m de diámetro y 27 m de profundidad más 5 m de profundidad con un diámetro de 0,127 m para filtrar el agua. El nivel del agua se mantiene a 21 m de la cota del terreno, la cual equivaldría a la altura estática. La altura del reservorio se proyecta a 3 m del nivel del suelo, y también la altura de abatimiento se proyecta a 2 m por debajo del

nivel del agua, en cuanto a las pérdidas por fricción se calculan de la siguiente manera.

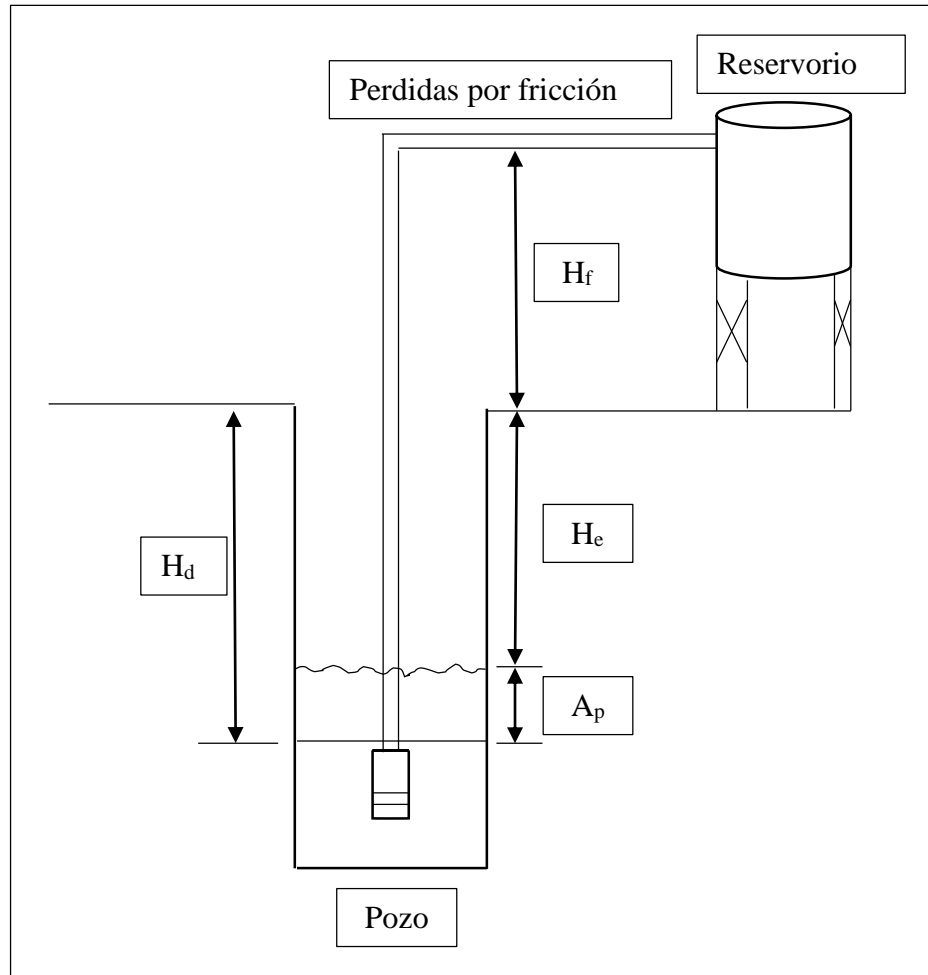


Figura 5. Variables de la altura total equivalente
Fuente. Elaboración propia

Según IDAE (2009) la altura de las pérdidas por fricción en las tuberías y otros accesorios del sistema hidráulico (válvulas, codos, grifos, etc.). Serán inferiores al 10 % de la energía hidráulica útil, por lo tanto la ecuación (2) quedará expresada de la siguiente manera.

$$H_{TE} = 1,1 [H_e + A_p + H_r] \quad (3)$$

$$H_{TE} = 1,1 [21 + 2 + 3]$$

$$H_{TE} = 28,6 \text{ m}$$

3.3.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA (E_H)

La energía hidráulica viene representada por la siguiente ecuación (4) según IDAE (2009), y otros autores.

$$E_H = 2,725x H_{TE}xQ \quad (4)$$

Donde E_H energía hidráulica (Wh/día), H_{TE} altura total equivalente (m), y Q caudal ($\text{m}^3/\text{día}$). Reemplazando los valores obtenemos una Energía hidráulica de 3 117,4 Wh/día.

$$E_H = 2,725x 28,6(m)x40(\text{m}^3/\text{día})$$

$$E_H = 3117,4 \text{ (Wh/día)}$$

Para calcular la potencia hidráulica (P_H) se tiene que dividir la energía hidráulica (E_H) entre las horas diarias de funcionamiento de la motobomba, y como en nuestro caso el funcionamiento de la motobomba depende de la radiación solar disponible y de las horas de sol pico, que equivale a 3,71 horas diarias y se define con la siguiente ecuación (5).

$$P_H = \frac{E_H}{t} \quad (5)$$

$$P_H = 840,27 W$$

Donde P_H potencia hidráulica (W), E_H energía hidráulica (Wh/día), y t tiempo diario de funcionamiento de la moto bomba. Obteniendo 840,27 W de potencia hidráulica.

3.3.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA DE LA MOTOBOMBA (P_{MB})

Según ficha técnica del fabricante se puede utilizar un rendimiento máximo de $\eta_{MB} = 0,65$ para bombas superiores a 500 W. Y se calcula con la ecuación (6), la potencia eléctrica de la motobomba.

$$P_{MB} = \frac{P_H}{\eta_{MB}} \quad (6)$$

Donde P_{MB} Potencia eléctrica de la motobomba (W), y η_{MB} rendimiento. Resultado 1 292,72 W Potencia eléctrica de la motobomba.

$$P_{MB} = \frac{840,27 W}{0,65}$$

$$P_{MB} = 1 292,72 W$$

3.3.5 CALCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR ($E_{POT.MAX.DIARIA}$)

Es la potencia máxima diaria que tiene que entregar los paneles solares, para hacer funcionar correctamente la moto bomba, y se calcula con la siguiente ecuación (7).

$$E_{MB} = E_{Pot.Max.Diaria} = \frac{E_H}{\eta_{MB}} \quad (7)$$

Donde $E_{Pot.Max.Diaria}$ energía potencial máxima (Wh/día), E_H energía hidráulica (Wh/día), y η_{MB} eficiencia de la motobomba. Reemplazando valores obtenemos 4 796 Wh/día de energía potencial máxima diaria.

$$E_{MB} = E_{Pot.Max.Diaria} = \frac{3\,117,4 \text{ (Wh/día)}}{0,65}$$

$$E_{MB} = E_{Pot.Max.Diaria} = 4\,796 \text{ Wh/día.}$$

3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO DE AGUA

3.4.1 CALCULO DE LA POTENCIA DEL GENERADOR (P_g)

En la ecuación (8) se puede calcular la potencia total del generador fotovoltaico.

$$P_g = f \cdot s \frac{E_{Pot.Max.diaria}}{0,9 \times HPS \times KT} \quad (8)$$

Donde P_g potencia del generador (W), $E_{Pot.Max.diaria}$ Potencia máxima diaria (Wh/día), HPS hora sol pico, KT factor por utilizar inversor o inversor más baterías, y $f \cdot s$ factor de seguridad.

El factor de seguridad debe de ser del 20% por sobrecalentamiento. Teniendo en cuenta los indicadores por el IDAE, en sistemas de bombeo de agua donde se utiliza inversor el $KT=0,7$ y donde se utiliza inversor más baterías el $KT=0,6$. Pero como la motobomba funciona con un motor alimentado a corriente continua el $KT = 1$. Reemplazando los valores en la ecuación (8) se obtiene 1 723,62 W de potencia del generador.

$$P_g = 1,2 \frac{4\,796 \text{ Wh/día}}{0,9 \times 3,71 \text{ h/día} \times 1}$$

$$P_g = 1\,723,62 \text{ W}$$

Tabla 3. Valores referenciales para la tensión del sistema en función de la potencia

Potencia	Tensión Nominal
$P \leq 800\text{Wp}$	12 V
$800 < P \leq 1600\text{Wp}$	24 V
$1600 < P \leq 3200\text{Wp}$	48 V
$P > 3200\text{Wp}$	96, 120 ó 300 V

Fuente. Mejía (2018)

Según la tabla 2, para potencias entre 1 600 Wp y 3 200 Wp, la tensión nominal del sistema debe de ser de 48 V. Valor referencial para la tensión del sistemas en función a la potencia (Mejía, 2018).

3.5 CALCULO DEL CAUDAL PICO QUE DEBE SOPORTAR LA BOMBA.

El rendimiento pico del subsistema motobomba tiene un valor de 65 % y se calcula con la ecuación (9).

$$Q_p = \frac{P_g \times \eta_{MB}}{g \times H_{TE}} \quad (9)$$

Donde Q_p caudal pico (l/s), P_g potencia del generador (W), η_{MB} rendimiento de la motobomba, g gravedad (m/s^2), H_{TE} altura total equivalente (m).

$$Q_p = \frac{1\,723,62 \times 0,65}{9,81 \times 28,6}$$

$$Q_p = 3,99 \text{ l/s}$$

Por lo tanto la bomba debe soportar un caudal pico de 3,99 l/s que equivaldría a un caudal pico de 14,36 m³/h.

Con los datos obtenidos de potencia de generación, altura máxima y caudal pico se seleccionó las diferentes fichas técnicas de los fabricantes, optando por la motobomba centrífuga solar sumergida modelo PS1800 C-SJ8-7 a corriente continua, voltaje nominal de 96 V, la cual tuvo los valores más cercanos al diseño.

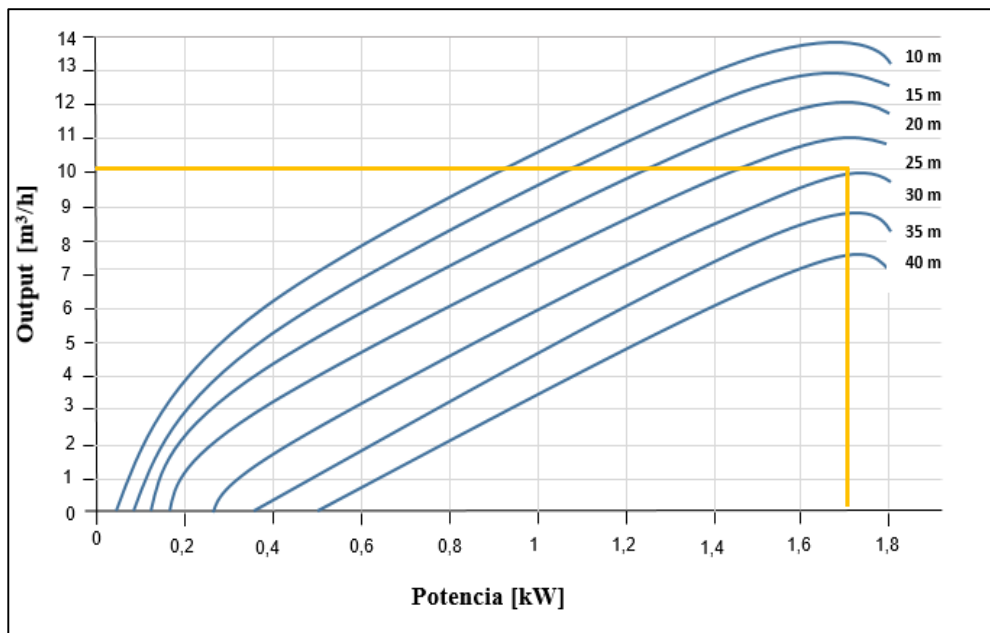


Figura 6. Curvas características de la bomba PS1800 C-SJ8-7

Fuente. Elaboración propia, Datos Lorentz (2019)

La motobomba seleccionada tiene una potencia de 1,7 kW, con un caudal máximo de 13 m³/h y una altura 40 m. En la figura 3 se presenta las curvas características de la motobomba y su respectiva señalización de acuerdo a su potencia, llegando a la

conclusión que con 1,7 kW de potencia se puede bombear 10 m³/h, el caudal es muy cercano al caudal de diseño requerido de 10,78 m³/h.

3.5.1 CALCULO DEL NÚMERO DE PANELES

Para el diseño del sistema se ha seleccionado paneles fotovoltaicos mono cristalino de 100 Wp, voltaje nominal 12 V, intensidad de operación 5,35 A, voltaje de operación 18,7 V, y corriente de corto circuito 5,72 A. Con la ecuación (10) se calcula el número de paneles totales.

$$NP = \frac{P_g}{P_{pfv}} \quad (10)$$

Donde NP es el número de paneles solares, P_g es la potencia del generador y P_{pfv} es la potencia pico del módulo fotovoltaico. Teniendo como resultado 17,23 paneles equivalente a 17 paneles.

$$NP = \frac{1\,723,62\,W}{100\,W}$$

$$NP = 17,23$$

Y para determinar el número de paneles en serie, se calcula con la ecuación (11).

$$N_{p.serie} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}} \quad (11)$$

Donde $N_{p.serie}$ es el número de paneles en serie, $V_{n.sgen}$ es el voltaje nominal de sistema de generación y $V_{n.p}$ es el voltaje nominal del panel.

$$N_{p.serie} = \frac{96}{12}$$

$$N_{p.serie} = 8$$

Como se ha determinado el voltaje nominal de generación de 96 V y el voltaje nominal del panel es de 12 V, entonces como resultado tenemos 8 paneles en serie. Y el número de paneles en paralelo se determina con la ecuación (12).

$$N_{p.paralelo} = \frac{NP}{N_{p.serie}} \quad (12)$$

$$N_{p.paralelo} = \frac{17}{8}$$

$$N_{p.paralelo} = 2,12$$

Donde $N_{p.paralelo}$ es el número de paneles en paralelo, NP es el número de paneles totales, y $N_{p.serie}$ es el número de paneles en serie. Obteniendo como resultado 2,12 paneles equivalente a 2 paneles en paralelo. Entonces para el arreglo de módulos fotovoltaicos se consideraron 16 paneles totales. También se consideró una estructura metálica de 4 m de largo, 2,40 m de ancho y 1,5 m de altura con un ángulo de inclinación de 7,5°.

3.5.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

a. Almacenamiento de Agua.

Es muchos más económico almacenar agua en un tanque elevado que almacenar energía en baterías. Solo es justificables el almacenamiento en baterías cuando se necesite regar por las noches, y cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol sea insuficiente para cubrir las necesidades hídricas. Sandia National Laboratories (2000), y otros autores.

Con la ecuación (13) se calcula el volumen de agua almacenado.

$$V_{alm} = Q \times D_{aut} \quad (13)$$

$$V_{alm} = 40\,000 \text{ l/día}$$

Donde V_{alm} es el volumen almacenado, Q es el caudal, y D_{aut} son los días de autonomía. El caudal diario de agua debe de ser igual a las necesidades hídricas diarias, 40 m³/día que es equivalente a 40 000 l/día. Se ha considerado 1 día de autonomía. Entonces el volumen almacenado es de 40 000 l/día.

Para el almacenamiento de agua se consideraron 14 cisternas de polietileno conectadas en serie de 2 800 litros cada uno. Y un soporte metálico de 11 m de largo, 4 m de ancho y 1,5 m de alto.

b. Almacenamiento de Energía

Para calcular la capacidad nominal del banco de baterías, primero se tiene que determinar la corriente del proyecto, el cual se calcula con la ecuación (14).

$$E = 1,1x \frac{E_{Pot.Max.Diaria}}{V_n} \quad (14)$$

$$E = 54,96 \text{ Ah/día}$$

Donde E es la corriente del proyecto (Ah/día), $E_{Pot.Max.Diaria}$ es la energía potencia máxima diaria (Wh/día), V_n es la tensión nominal del sistema (V) y se ha previsto pérdidas del 10% por conexionado. Obteniendo como resultado 54,95 Ah/día. Luego se calculara la capacidad nominal del banco de baterías con la ecuación (15).

$$C_{B,baterías} = \frac{E \times N_{d,aut}}{(FP_{maxDB,d}) \times F_{CT}} \quad (15)$$

$$C_{B,baterías} = \frac{54,95 \times 1}{0,8 \times 0,9}$$

$$C_{B,baterías} = 76,31 \text{ Ah/día}$$

Donde $C_{B,baterías}$ es la capacidad nominal del banco de baterías (Ah), $N_{d,aut}$ es el número días de autonomía del banco de baterías, $FP_{maxDB,d}$ es el factor de profundidad de descarga máxima diaria, y F_{CT} es el factor de corrección por temperatura.

Tomando la E corriente del proyecto (54,95 Ah/día), $N_{d,aut}$ igual a 1 día, $FP_{maxDB,d}$ igual a 80 %, y un F_{CT} de 0,9, entonces como resultado se obtuvo 76,31 Ah/día.

Se ha seleccionado un acumulador marca GTK, modelo L0730, Tipo Li-on de 75 Ah, con un voltaje nominal de 96 V CD y de profunda descarga. Con la ecuación (16) se calcula el número de baterías en paralelo.

$$N_{b,paralelo} = \frac{C_{B,baterias}}{C_{n,baterias}} \quad (16)$$

$$N_{b,paralelo} = \frac{76,31 \text{ Ah/dia}}{75 \text{ Ah/dia}}$$

$$N_{b,paralelo} = 1,01$$

Donde $N_{b,paralelo}$ es el número de baterías en paralelo, $C_{B,baterias}$ es la capacidad nominal del banco de baterías (Ah) y $C_{n,baterias}$ es la capacidad nominal de la batería. Aplicando la ecuación se obtuvo 1,01 baterías que es equivalente a 1 baterías en paralelo. Y para celular el número de batería en serie se aplica la ecuación (17), teniendo un total de 1 baterías en serie. Con la ecuación (18) se calcula el total de baterías, que es de 1 baterías total.

$$N_{b,serie} = \frac{V_{n,sgen}}{V_{n,bateria}} \quad (17)$$

$$N_{b,totales} = N_{b,paralelo} \times N_{b,serie} \quad (18)$$

La energía se almaceno en agua y no en baterías. Por el hecho que tienden a encarecer el proyecto y las necesidades de riego no ameritan su uso. El cálculo se desarrollado para referencia.

3.5.3 SUBSISTEMA DE REGULACIÓN

Para calcular el sistema de regulación, primero se tiene que determinar la corriente máxima de entrada y de salida que debe de soportar el regulador. También se considera la corriente máxima que entrega el generador fotovoltaico para el cálculo

del regulador de carga, de esta manera se selecciona un controlador de carga, capaz de asumir esa corriente para asegurar que la pérdida de eficiencia que el controlador sufre con el tiempo no afecte el sistema (Mejía, 2018). La corriente de operación del generador fotovoltaico ($I_{oper,G}$) se calcula con la ecuación (19). Obteniendo como resultado 10,7 A.

$$I_{oper,G} = I_{oper,panel} \times N_{p,paralelo} \quad (19)$$

$$I_{oper,G} = 10,7 A$$

Donde $I_{oper,G}$ es la corriente de operación del generador fotovoltaico, $I_{oper,panel}$ es la corriente de operación del panel, $N_{p,paralelo}$ es el número de paneles en paralelo.

Para determinar la corriente máxima de todo el conjunto de generadores fotovoltaicos, se tiene que tomar la corriente de corto circuito del panel seleccionado 5,72 A, y el número de paneles en paralelo 2. Resultando que la corriente máxima del generador fotovoltaico es de 11,44 A, y se calcula con la ecuación (20).

$$I_{max,G} = I_{SC,G} = I_{SC,panel} \times N_{p,paralelo} \quad (20)$$

$$I_{max,G} = I_{SC,G} = 11,44 A$$

Donde $I_{max,G}$ es la corriente máxima de todo el conjunto generador fotovoltaico, $I_{SC,G}$ es la corriente de corto circuito de todo el conjunto generador fotovoltaico, $I_{SC,panel}$ es la corriente de corto circuito del panel, $N_{p,paralelo}$ es el número de paneles en paralelo.

Para seleccionar el controlador de carga se determinó la corriente de entrada o corriente máxima del generador multiplicado por un factor, donde la corriente del controlador deberá ser mayor, y se calcula con la ecuación (21)

$$I_{regulador} > I_{entrada} \quad (21)$$

$$I_{regulador} > F_{SC} \times I_{max,G}$$

$$I_{regulador} > 1,2 \times I_{max,G}$$

Donde $I_{regulador}$ es la corriente de controlador de carga, F_{SC} es el factor de seguridad por corto circuito, $I_{max,G}$ es la corriente máxima de todo el conjunto generador fotovoltaico.

Se ha seleccionado un controlador PS1800, MPPT integrado, Corriente motor 14 A, potencia máxima 1 800 W, eficiencia 98%. Con la ecuación (22) se puede apreciar que la corriente del máxima del generador 13,72 A es menos que la corriente del generador seleccionado 14 A.

$$I_{regulador} > 1,2 \times I_{max,G} \quad (22)$$

$$14 > 13,72 \text{ A}$$

Vale recalcar que la corriente 13,72 A, calculado en la ecuación (22) es de mucha utilidad para seleccionar la corriente de conductores y proyecciones eléctricas en el sistemas fotovoltaico. El dimensionamiento de conductor eléctrico se realiza bajo las condiciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y el Código Nacional de Electricidad (CNE).

3.5.4 CALCULO DE SECCIÓN DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO

Para calcular la sección del conductor que alimentara la motobomba desde el regulador, se dispone de la siguiente información.

- Potencia a transmitir: 1,6 kW
- Tensión de operación: 96 V
- Corriente de diseño : 13,72 A
- Longitud de diseño: 28 m
- Máxima caída de tensión: 5 % (Según Ficha técnica Lorentz)

Para conductores de cobre la sección de los cables para corriente continua se calculará mediante la siguiente (29).

$$S = \frac{2xLxI}{\sigma x\Delta V} \quad (23)$$

$$s = \frac{2x28x13,72}{56x4,8}$$

$$s = 14,29 \text{ mm}^2$$

Donde s es la sección del conductor en (mm^2), L longitud en (m), I intensidad en (A), σ conductividad del conductor ($56 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), ΔV caída de tensión (4,8 V). Obteniendo como resultado $14,29 \text{ mm}^2$. Se empleara un conductor NYY triple de 16 mm^2 .

3.5.5 TOPOLOGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO DISEÑADO

Con cada uno los componentes dimensionados, se muestra la topología del sistema de bombeo fotovoltaico en la figura 12, considerando almacenamiento de agua para 1 día de autonomía.

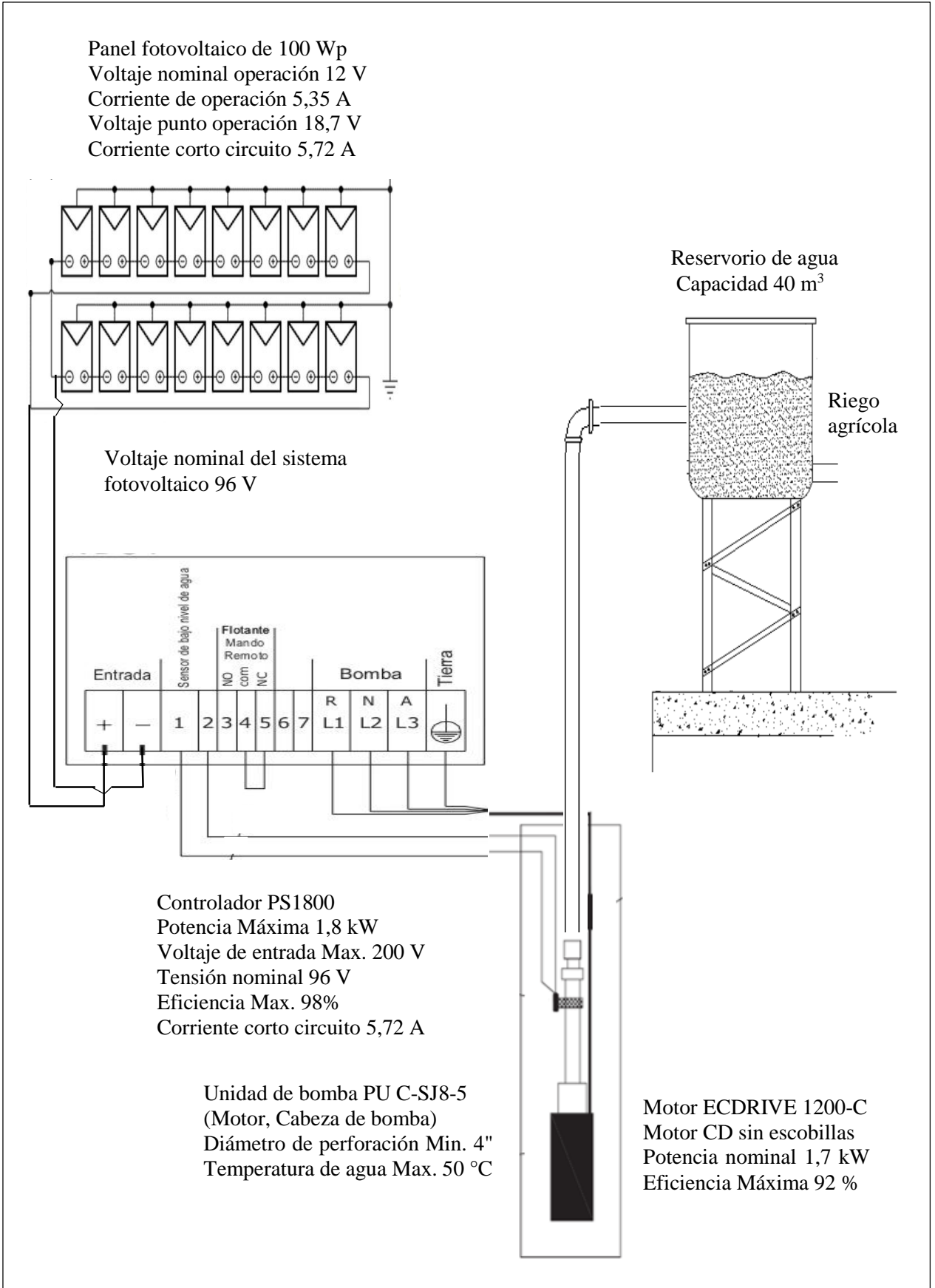


Figura 7. Topología del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado
 Fuente. Elaboración propia

1.4.1. ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

Al invertir en un proyecto se espera recuperar lo invertido a mediano o largo plazo y obtener alguna ganancia. Para conocer estas interrogantes es que se evaluó económicamente el proyecto (Godoy, 2016).

A continuación se realizara la evaluación económica del proyecto sistema de bombeo fotovoltaico. En este sentido se utilizaran algunos indicadores que permitirán evaluar la implementación del sistema. Los indicadores que se utilizan son el Valor Actual Neto (VAN), y a la Tasa de Interna de Retorno (TIR). La evaluación se realizara de acuerdo a la vida útil del sistema que se estima de 20 a 25 años.

a. Inversión

Se ha presupuestado una inversión de \$ 21 757,13 para el sistema de bombeo solar fotovoltaico. En la tabla 4, se presenta el costo de inversión referencial del proyecto.

b. Flujo de Caja Proyectado

Con el flujo de caja se puede observar los ingresos y egresos netos que se puede obtener a lo largo de la duración del proyecto, es decir a lo largo de 20 años. Al dejar de utilizar la motobomba existente, el proyecto obtendrá los ingresos al no utilizar combustible, y los egresos será el mantenimiento del nuevo sistema empleado. En la tabla 5, se presenta el flujo de caja proyectado a 20 años.

Con los datos obtenidos del agricultor, se realizó el análisis económico sobre el consumo de combustible de la motobomba existe y su costo de mantenimiento, resultando un valor de \$ 2 300,23 y \$ 220,76 anuales respectivamente. Según Campos (2018), considera 2,5% del costo de los paneles para su mantenimiento anual. Se calculó el costo anual del mantenimiento de los módulos fotovoltaicos obteniendo \$ 82,02 anuales.

Tabla 4. Costo de inversión del proyecto

ITEM	DESCRIPCION DE PARTIDAS	UNID	METRADO	COSTO UNITARIO (\$)	PARCIAL (\$)
I. Suministro de Materiales					
1.00	Sistema de Bombeo Fotovoltaico				
1.01	Bomba Centrifuga Lorentz PS1800 C-SJ8-7, 13 m3/h, 40 m, 96 Vn.	u	1	994,7	994,70
1.02	Modulo Fotovoltaico Mono cristalino LC-100-M36, 100 Wp, Lorentz	u	16	205,2	3283,20
1.03	Controlador PS1800, Potencia Max. 1, 8 W, Tensión Nominal 96 V	u	1	274,3	274,30
1.04	Estructura Metálica Elevada 2x8 Paneles	glb.	1	450,5	450,50
1.05	Manguera Polietileno 2"	u	30	1,80	54,00
1.06	Acoplamiento	glb.	1	10,00	10,00
1.07	Cisterna de agua de polietileno de 2 800 L, Rotoplas	u	14	522,38	7313,32
1.08	Estructura Metálica de 11x4x1,5 m,	glb.	1	895,50	895,50
Sub Total 1,00					13275,52
2.00	Sistema Eléctrico				
2.01	Cable NYY de 16 mm2	m	23	3,86	88,78
2.02	Cable TW	m	23	1,42	32,66
2.03	Tubo PVC SAP	u	4	5,05	20,20
2.04	Curva PVC SAP	u	4	1,76	7,04
2.05	Cinta Aislante	u	1	1,73	1,73
Sub Total 2,00					150,41
3.00	Sistemas de Puesta a Tierra				
3.01	Electrodo de Acero Recubierto con Cobre de 16mm Ø, x 2,40 m.	u	1	12,22	12,22
3.02	Caja de Registro de Concreto para Inspección de P.T	u	1	10,73	10,73
3.03	Conector de cobre tipo AB	u	1	1,58	1,58
3.04	Tubo PVC 20 mm Ø x 3.20 m	u	2	2,01	4,02
3.05	Bentonita (50 kg)	Bls	1	9,73	9,73
Sub Total 3,00					38,28
II. Montaje Electromecánico					
1.00	Montaje del Sistema de Bombeo Fotovoltaico				2655,104
2.00	Montaje del Sistema Eléctrico				30,082
3.00	Montaje del Sistemas de Puesta a Tierra				7,656
Sub Total 4,00					2692,84
RESUMEN GENERAL					
1.0 SUMINISTRO DE MATERIALES					13464,21
2.0 MONTAJE ELECTROMECHANICO					2692,84
3.0 TRANSPORTE					1077,14
4.0 COSTO DIRECTO					17234,19
5.0 GASTOS GENERALES					1723,42

Continua ...	
6.0 UTILIDADES	861,71
7.0 COSTO SUBTOTAL	19819,32
8.0 I.G.V. (18)	1937,81
TOTAL GENERAL	21757,13

Fuente. Elaboración Propia.

Tasa de descuento

El proyecto de acuerdo a sus riesgos se exige una rentabilidad mínima que se evaluada con la tasa de descuento. La tasa se podrá utilizar para conocer el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto. La tasa de interés vigente en el mercado es de 12,3% (Campos, 2018).

c. Valor Actual Neto (VAN)

Con una tasa de descuento los flujos netos del futuro los traes hacían el presente, resultando la cantidad monetaria que viene hacer la Valor Actual Neto. El proyecto siempre se aceptará cuando el VAN sea mayor a cero, de lo contrario se rechazara (Campos, 2018).

La tasa de descuento con la que se evaluara el proyecto es de 12,3%, y se concluye que para los 20 años de operación del proyecto es económicamente rentable.

Tabla 5. Valor Anual Neto del Proyecto

Tasa de descuento	VAN	Decisión
12,3%	\$ 15 976,67	El proyecto es rentable, la inversión debe realizarse.

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 6. Flujo de caja proyectado a 20 años

FLUJO DE CAJA DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO																						
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
FLUJO DE CAPITAL																						
Inversión Fija	\$	-21757,13																				
TOTAL FLUJO CAPITAL	\$	-21757,13																				
FLUJO OPERATIVO																						
INGRESOS																						
Ahorro en Combustible	\$	2300,23	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,2	2300,23	2300,2	2300,23	2300,2	2300,23	2300,23	2300,2	2300,2	
Ahorro por Mantenimiento y otros en Motobomba	\$	220,76	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,8	220,76	220,8	220,76	220,8	220,76	220,76	220,8	220,8	
TOTAL DE INGRESOS	\$	2520,99	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2521,0	2520,99	2521,0	2520,99	2521,0	2520,99	2520,99	2521,0	2521,0	
EGRESOS																						
Costo Variable																						
Mantenimiento en SBFV	\$	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	82,02	
TOTAL DE EGRESOS	\$	82,02	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,02	82,0	82,02	82,0	82,02	82,02	82,0	82,0	
UTILIDAD DE OPERACIÓN	\$	2438,97	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2438,97	2439,0	2439,0	
FLUJO EFECTIVO (OPERATIVO)	\$	2438,97	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2438,97	2439,0	2439,0	
FLUJO TOTAL																						
Flujo de caja operativos	\$	2438,97	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2438,97	2439,0	2439,0	
Flujo de caja de capital	\$	-21757,13																				
TOTAL	\$	-21757,13	2438,97	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2439,0	2438,97	2438,97	2439,0	2439,0	
ACUMULATIVO	\$	-21757,13	-19318,2	-16879,2	-14440,2	-12001,3	-9562,3	-7123,3	-4684,3	-2245,4	193,6	2632,6	5071,5	7510,5	9949,48	12388,5	14827,4	17266,4	19705,4	22144,3	24583,3	27022,3
VAN	\$	15976,67																				
TIR (%)		9%																				

Fuente. Elaboración Propia.

d. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno, es aquella rentabilidad que hace igual a cero la inversión inicial del proyecto. El proyecto se aceptara cuando el TIR sea mayor a la tasa de descuento de lo contrario se rechazara (Campos, 2018). En la tabla 7 se muestra el resultado del TIR, resultado que es menor que la tasa de descuento por lo tanto se debe aceptar el rechazar.

Tabla 7. Tasa interna de retorno del proyecto

Tasa de descuento	TIR	Decisión
12,3 %	9%	El proyecto se debe rechazar.

Fuente. Elaboración Propia.

IV. RESULTADOS

En la tabla 8, muestra el resultado del diseño propuesto de la bomba solar sumergible modelo PS1800 C-SJ8-7 de corriente continua, así como también la potencia máxima de 1 700 W, carga dinámica total 40 m, caudal máximo 13 m³/h, y voltaje nominal de 96 V.

Tabla 8. Especificaciones técnicas de diseño de la motobomba

Especificación técnicas de diseño	Carga dinámica total (m)	Caudal Máximo (m³/h)	Voltaje Nominal (V)
Bomba solar centrifuga Lorentz PS1800, modelo PS1800 C-SJ8-7, Potencia Máxima 1 700 W, eficiencia 65 %.	40	13	96

Fuente. Elaboración propia

La potencia de generación calculada es de 1 723,62 W, potencia suficiente para bombear 10 m³/h. El caudal garantiza la demanda hídrica, además el diseño esta considerado para el mes que presenta menos índice de radiación solar.

En la tablas 9, se muestran las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico mono cristalino LC100-M36 de 100 Wp, voltaje nominal 12 V, voltaje de operación 18,7 V, corriente de operación 5,35 A, y corriente corto circuito 5,72 A.

En la tabla 10, se presentan las especificaciones técnicas del controlador PS1800, Potencia 1 800 W, voltaje de entrada Max. 200 V, tensión nominal 96 V, corriente motor Max. 14 A, eficiencia Max. 98 %.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos

Especificaciones técnicas de diseño	Voltaje nominal del Sistema de BFV (V)	Número de paneles fotovoltaicos		
		Serie	Paralelo	Total
Panel FV mono cristalino LC100-M36, de 100 W _p , voltaje nominal de operación 12 V, corriente de operación 5,35 A, voltaje de operación 18,7 V, y corriente de corto circuito 5,72 A.	96	8	2	16

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 10, se presenta las características del tanque de almacenamiento.

Tabla 10. Especificaciones técnicas del regulador de carga

Especificaciones técnicas de diseño	Corriente Motor Max. (A)	Cantidad de reguladores
Controlado PS1800, Potencia Max. 1,8 kW, voltaje de entrada Max. 200 V, tensión nominal 96 V, eficiencia 98 %.	14 A	1

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11. Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento

Especificaciones técnicas de diseño	Capacidad Max. (l)	Cantidad de Tanques
Cisterna Rotoplas de pilielileno, Capacidad del tanque 2 800 litros, Altura 1,78 m, Diámetro 1,56 m	2 800	14

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 12, se muestra los resultados la evolución económica

Tabla 12. Evaluación Económica

Presupuesto	VAN	TIR
\$ 21 757,13	\$ 15 976,67	9%

V. DISCUSIÓN

Los componentes de los sistemas de bombeo fotovoltaico, básicamente tiene dos configuraciones sistemas de impulsión y el sistema de acoplamiento del mismo con el generador. Pero también se puede diferenciar los siguientes cuatro elementos en los sistemas de bombeo fotovoltaico; sistemas de generación eléctrica, sistemas de adaptación eléctrica, sistemas de almacenamiento y distribución, y grupo motor-bomba (Castro et al. 2011).

Los parámetro de la radiación solar promedio que obtuvimos de la NASA, Atlas Solar del Perú y cálculos empíricos, se obtuvieron 6.09 Kwh/m²día, 5.58 Kwh/m²día y 6.26 Kwh/m²día respectivamente, lo que es ideal para la aplicación del sistema alternativo eólico solar para la generación de energía eléctrica y satisfaga la demanda de 2 HP que requiere la bomba de agua para aplicación en la agricultura en el centro poblado de Chinumani (Andrade y Quispe, 2016).

De acuerdo con los datos encontrados y recursos solar evaluado para la zona de interés, el nivel de radiación solar promedio mensual varía desde un mínimo de 3,88 kWh/m²/da en el mes de febrero, hasta un máximo de 4,91 kWh/m²/día en el mes de septiembre para un ángulo óptimo de inclinación de 5°. Aplicando el criterio de seleccionar la radiación en el mes más desfavorable, se dispone del dato re radiación mínimo mensual que recibirá el sistema, el cual se determinó 3,88 kWh/m²/día (Mejia, 2018).

Según Campos (2018), para un caudal y altura de diseño de 9,5 m³/h y 19,79 m respectivamente, selecciona una motobomba centrífuga vertical de varias etapas modelo CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE con las siguientes características, caudal y altura nominal 12,1 m³/h y 22,1 m respectivamente, potencia de entrada 1,73 kW, potencia nominal 1,5 kW. Estas bombas en línea pueden utilizarse en sistemas de tuberías y están diseñadas para montarse sobre una base. Para el diseño se seleccionó una motobomba solar sumergida

modelo PS1800 C-SJ8-7 de corriente continua, con un caudal pico de 13 m³/h y una altura máxima de 40 m, con una eficiencia de máxima de 65%.

Los paneles solares monocristalinos son los más eficientes de entre los existentes en el mercado, con aproximadamente 15% al 20% de eficiencia, es decir, es la fracción de energía del sol que se convierte en energía eléctrica. En el proyecto de diseño de sistema de riego en zona rural con energía solar fotovoltaica selecciona paneles solares de acuerdo a la potencia de la motobomba que es de 2400 Wp, cada panel solar modelo AC WHT Poly 250W BLK aporta 223W, por lo que se necesitarían 10,8 equivalente a 11 paneles para cumplir con el requerimiento de la motobomba (Godoy, 2016). En el proyecto se seleccionan paneles monocristalinos modelo LC100-36, de 100 Wp con una eficiencia de 15,13 %.

El uso de baterías solo se justifica cuando el riego diario es insuficiente, por lo tanto en el proyecto no se ha considerado su uso. Varios autores recomiendan almacenar agua en un tanque elevado, porque el almacenamiento de energía en baterías hace que el proyecto incremente considerablemente los costos (Tobajas, 2005).

Para seleccionar el regulador de carga se tiene que cumplir que la potencia del generador fotovoltaico debe ser menor que la máxima capacidad de potencia del regulador, por lo tanto se tiene 3 840 kW de potencia de generación, y la potencia máxima del regulador PS2 - 4 000 es de 4 kW. Entonces se cumple que 4 kW es mayor a 3,840 kW (Sánchez, 2018). Para el diseño del proyecto se ha determinado una potencia de generación de 1,72 kW, por lo tanto se ha seleccionado un controlador de carga modelo PS1800 de potencia máxima 1,8 kW.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a la metodología que se ha aplicado en el trabajo de investigación se han llegado las siguientes conclusiones.

- De acuerdo a la zona de estudio el nivel de radiación varía de 3,71 Wh/m²/día en el mes de febrero hasta 5,10 Wh/m²/día en el mes de noviembre para un ángulo de 5°. Aplicando el criterio del mes menos favorables para el diseño del sistema, se seleccionó el mes de febrero que dispone de un promedio de 3,71 Wh/m²/día.
- Se estimó la demanda energética de 3117,4 Wh/día, y una potencia hidráulica de 840,27 W. Con un rendimiento de la motobomba de 65%, la potencia eléctrica de la motobomba resulto 1,29 kW.
- El sistema fotovoltaico de bombeo de agua requiere 16 paneles de 100 Wp conectarlos 8 en serie y 2 en paralelo; 1 controlador de carga de 14 A y 96 V CD; 1 motobomba solar de carga dinámica total 40 m, caudal máximo 13 m³/h y un reservorio de 40 000 litros para un día de autonomía.
- El proyecto tiene una inversión inicial de \$ 21 757,13 y un plazo de retorno de inversión de 9 años. Con un VAN de \$ 15 976,67 y un TIR de 9%.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el proyecto diseñado. Así, mismo se recomienda la implementación de este tipo de proyectos en las provincias de la región Cajamarca, donde se presenten condiciones similares de radiación y potencia requerida, favoreciendo de esta manera a los pequeños agricultores a mejorar su calidad de vida.

- Para la implementación del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado, se dé un mantenimiento periódico de los módulos fotovoltaicos, para evitar que se acumule suciedad en la superficie y disminuya su eficiencia como también su vida útil.

- Se recomienda, la implementación de sistemas eólico solar (híbrido) para incrementar la potencia de generación del sistema de bombeo, cuando se presente condiciones mínimas para generar energía no convencional.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J. y Quispe, M. (2016). *Diseño y selección de un sistema eólico solar para la Generación de Energía Eléctrica que mejore el sistema de bombeo de agua con fines de riego en el Centro Poblado de Chinumani- Yunguyo, 2016* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.
- Asmat, C. (2018). *Determinación de la Eficiencia de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico en el Distrito de Yaurisque – Cusco* (tesis de pregrado). Universidad Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Área de Ciencia y Tecnología Convenio Andrés Bello. (2005). *Guía para el almacenamiento, manejo y conducción del agua*. Recuperado de <https://books.google.es/books?id=Vz2cvQ5AWoC&printsec=frontcover#v=twopage&q&f=false>
- Campos, P. (2018). *Proyecto de riego por goteo utilizando energía solar para cultivo de flores para exportación en el fundo huertas, distrito de sayán, provincia de huaura, departamento de lima*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.
- Castro, M., Colmenar, A., Fiffe, R.P., Pérez, M., Perpiñán, O., y Perulero, J.M. (2011). *Sistema de Bombeo Eólico y Fotovoltaico*. Sevilla. España: Progenisa.
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2017). *Informe de la Operación Mensual del Sein* (INFSGI-MES-01-2017). Recuperado de <http://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Estadisticas/>
- De Juana, J.M^a., Santos, F., Crespo, A., Herrero, M.A., De Francisco, A., Fernández, J. (2009). *Energías Renovables para el desarrollo*. Madrid. España: Paraninfo.

- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. (2017). *Cartilla Tecnológica del Cultivo de Yuca en el Litoral Atlántico de Honduras*. Recuperado de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3149/1/BVE17089155e.pdf>
- Farfán, J. L. (2018). *Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea, cuenca motupe – olmos – la leche* (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Godoy, E. (2016). *Diseño de Sistema de Regadío en zona rural con Energía Solar Fotovoltaica* (tesis de pregrado). Universidad de la Santísima Concepción, Concepcion, Chile.
- IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas a la red. España*. Recuperado a partir de www.ideas.es
- Mejía, E. J. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad politécnica amazónica*. (Proyecto de investigación). Universidad Politécnica Amazónica, Bagua Grande, Perú.
- Sánchez, G. (2019). *Propuesta de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín – Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Tobajas, M. C. (2005). *Energía Solar Fotovoltaica*. Barcelona. España: Ceysa.
- Valer, L., Moura de Moraes, A., Morante, F., Zilles, R., y Fedrizzi, M. (2014). Desafíos actuales para la difusión de sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua en el semiárido Brasileño. *Asades*, 2, 04.93-04.100.

ANEXOS

ANEXO 01. Ficha técnica de la motobomba seleccionada

LORENTZ 

PS1800 C-SJ8-7

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Gama de sistemas

Altura	max. 40 m
Flujo	max. 13 m ³ /h

Datos técnicos

Controlador PS1800

- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrado
- Funcionamiento con batería: protección integrada contra descarga total

Potencia	max. 1,8 kW
Voltaje de entrada	max. 200 V
Óptimo Vmp*	> 102 V
Tensión nominal (alimentación a pilas)	96 V
Corriente motor	max. 14 A
Eficiencia	max. 98 %
Temp. del ambiente	-30...50 °C
Modo de protección	IP54

Motor ECDRIVE 1200-C

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

Potencia nominal	1,7 kW
Eficiencia	max. 92 %
Revoluciones motor	900...3.300 rpm
Clase de aislamiento	F
Modo de protección	IP68
Inmersión	max. 250 m

Cabeza de bomba PE C-SJ8-7

- Válvula no retorno
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304

Unidad de bomba PU C-SJ8-7 (Motor, Cabeza de bomba)

Diámetro de perforación	min. 4,0 in
Temperatura del agua	max. 50 °C

Normas



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

Meets the requirements of:
IEC/EN 61702:1995,
IEC/EN 62253 Ed.1

El logo refleja la aprobación que ha sido garantizada para este producto familiar. Los productos son ordenados con la aprobaciones específicas que el mercado requiera.

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany,
Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax -29, www.lorentz.de



Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.84

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciarse de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regularizaciones del mercado local.

Distribuidor CodeSolar.com Tel: +593 (0) 98-4989688

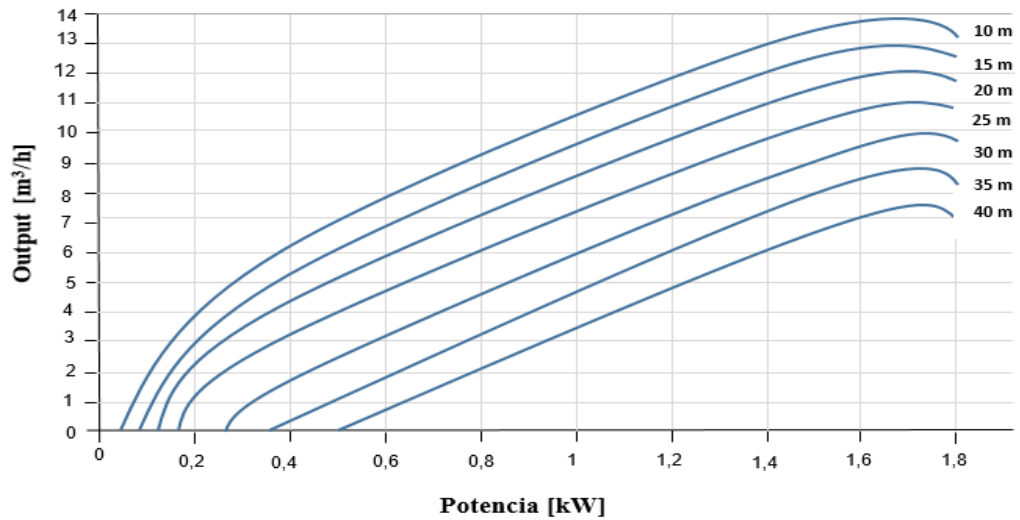
Sun. Water. Life.

PS1800 C-SJ8-7

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Plantilla de datos de la bomba

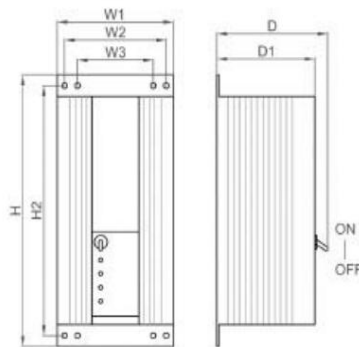
Vmp* > 102 V



Dimensiones y pesos

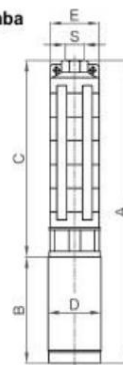
Controlador

H = 396 mm
H2 = 364 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Undidad de bomba

A = 684 mm
B = 185 mm
C = 499 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 2 in



	Peso neto
Controlador	4,5 kg
Undidad de bomba	14 kg
Motor	7,0 kg
Cabeza de bomba	6,5 kg

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany.
Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax -29, www.lorenz.de



Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.84

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciar de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regularizaciones del mercado local.

Distribuidor CodeSolar.com Tel: +593 (0) 98-4989688

Sun. Water. Life.



LC100-M36

High-efficiency PV Module

Features

- high energy yields ensured by high conversion efficiency
- sturdy, clear-anodized aluminum frame with pre-drilled holes for quick installation
- advanced EVA encapsulation with triple-layer backsheet, meets the most stringent safety requirements for high-voltage operation
- pre-wired junction box equipped with connectors "plug'n'play"
- reliable bypass diodes to prevent overheating (hot spot effect) and to minimise power loss by shading
- manufactured in ISO 9001:2000-certified factory



photo may differ from actual product

Warranty

- Warranty: 2 years
- Performance guarantee:
up to 10 years (90% power output)
up to 20 years (80% power output)

Details according to warranty issued by LORENTZ

Standards

LC100-M36 is certified according to IEC 61215 and 61730 by TÜV Rheinland and meets the requirements for CE.



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic Inspection



Specifications

Electrical Data

Peak power	Pmax	[Wp]	100
Tolerance		[%]	+ 5/0
Max. power current	Imp	[A]	5.35
Max. power voltage	Vmp	[V]	18.7
Short circuit current	Isc	[A]	5.72
Open circuit voltage	Voc	[V]	23.0
Temperature co-efficient for Pmax		[%/°C]	-0.4
Temperature co-efficient for Voc		[%/°C]	-0.33
Temperature co-efficient for Isc		[%/°C]	0.05
Max. system voltage		[VDC]	1,000
Module efficiency		[%]	15.13
Practical module efficiency		[%]	17.94

All technical data at standard test condition:
AM = 1.5, E = 1,000W/m², cell temperature: 25 °C

Cells

Number of cells in series	36
Number of cells in parallel	1
Cell technology	monocrystalline
Cell shape	rectangular

To find out more visit www.lorentz.de

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany, Tel. +49 (0) 4193 8806- 700

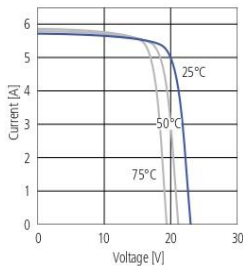
Errors excepted and possible alterations without prior notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations. A pump system consists of a controller, motor and pump end. Multiple pumps/pump ends are shown to represent the wide range of pumps (over 70) that LORENTZ has.

Sun. Water. Life.

Electrical Performance

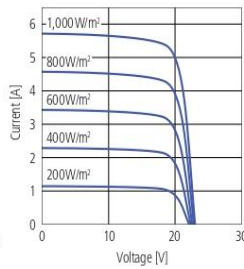
Electrical Performance

for different temperatures, at AM=1.5, E=1,000 W/m²



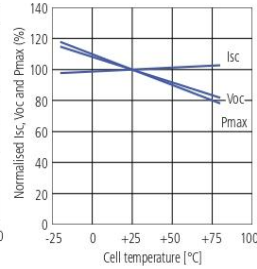
Electrical Performance

for different irradiation, at 25 °C



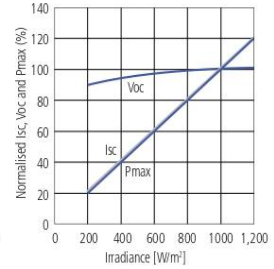
Temperature Dependence

of Isc, Voc and Pmax

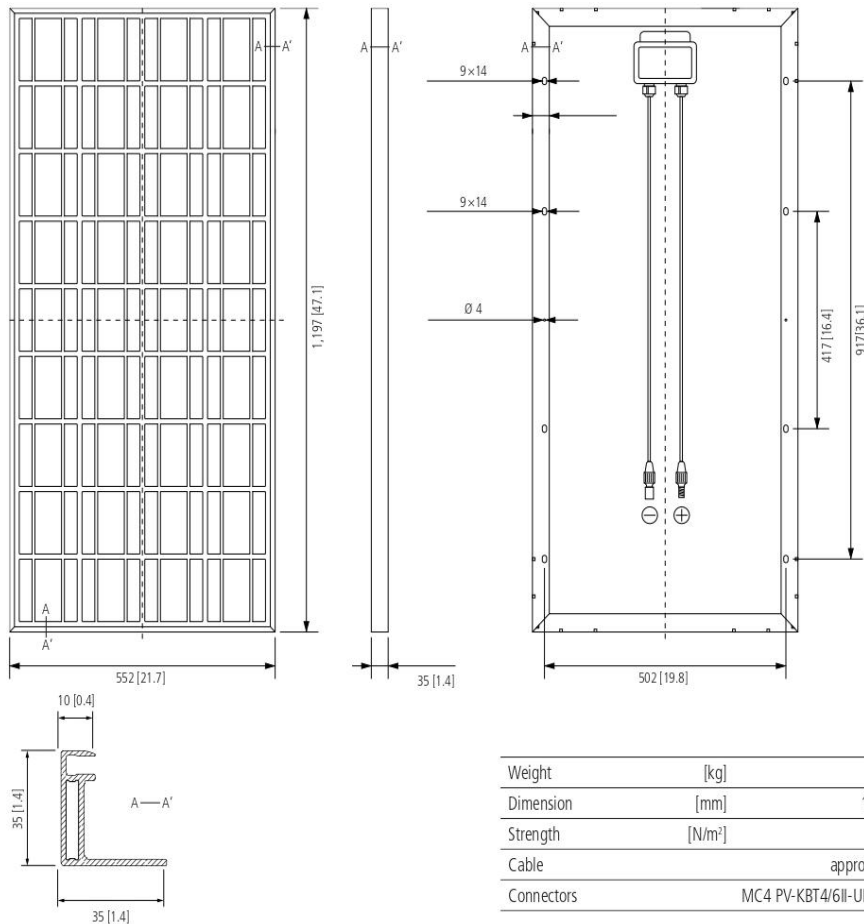


Irradiation Dependence

of Isc, Voc and Pmax at 25 °C



Physical Specifications mm



Weight	[kg]	8.1
Dimension	[mm]	1,197 × 552 × 35
Strength	[N/m ²]	2,400
Cable		approx. 900mm, 4mm ²
Connectors		MC4 PV-KBT4/6II-UR / PV-KST4/6II-UR

To find out more visit www.lorentz.de

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany, Tel. +49 (0)4193 8806 - 700

Errors excepted and possible alterations without prior notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations. A pump system consists of a controller, motor and pump end. Multiple pumps/pump ends are shown to represent the wide range of pumps (over 70) that LORENTZ has.

Sun. Water. Life.