



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica
para el Caserío la Represa, Distrito de Jayanca, Provincia
y Departamento de Lambayeque”**

Autor:

Bustamante Gamonal, Jan Carlos

Asesor:

Salazar Mendoza, Aníbal Jesús

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica
para el Caserío la Represa, Distrito de Jayanca, Provincia
y Departamento de Lambayeque”**

Autor:

Bustamante Gamonal, Jan Carlos

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Ing. Carlos Chambergo Larrea

SECRETARIO: Ing. Amado Aguinaga Paz

MIEMBRO: Ing. Jony Villalobos Cabrera

ASESOR: Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

TITULO

“Sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica
para el Caserío la Represa, Distrito de Jayanca, Provincia y
Departamento de Lambayeque”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bustamante Gamonal, Jan Carlos

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú
Diciembre del 2019

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme la vida, salud y sabiduría para cumplir una de mis metas, por su gran amor y misericordia para seguir adelante en el camino hacia lo que me propongo, para afrontar todos los retos a lo largo de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

A mis padres, Ignacio Gabino Bustamante Burga y Rosalía Gamonal Díaz, por brindarme su apoyo a lo largo de mi carrera, por darme aliento de seguir adelante en momentos difíciles y gracias por sus consejos, gracias a ello alcanzo una meta para poder seguir siendo su orgullo como persona y profesional.

A mis familiares, amigos y allegados por los consejos y el apoyo tanto emocional como espiritual para seguir.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por sus enseñanzas, conocimientos, experiencias y sabiduría impartidas en cada clase, y por sus sabios consejos.

Bach. Jan Carlos Bustamante Gamonal

AGRADECIMIENTO

Al todopoderoso Dios de los Ejércitos, por darme todo lo necesario para terminar la carrera profesional y por muchas enseñanzas que a lo largo he ido aprendiendo. A mi asesor Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza, estoy totalmente agradecido por sus consejos y orientación a lo largo del desarrollo de mi tesis, además por su compromiso, perseverancia y tiempo invertido.

A los docentes de la facultad Ingeniería Mecánica Eléctrica -UNPRG, por tantas enseñanzas brindadas quienes fueron indispensables en nuestra formación académica y profesional a lo largo de nuestra carrera.

Bach. Jan Carlos Bustamante Gamonal

RESUMEN

El objetivo general de este proyecto de tesis es dimensionar un Sistema de agua potable para el Caserío La Represa, ubicado en el distrito de Jayanca haciendo uso de la energía solar fotovoltaica, con el fin de solucionar el problema de falta de agua.

La siguiente investigación es del tipo aplicada, descriptiva y de datos primarios. Se determinó que la demanda de agua es de 12 328 L/día, para abastecer a una población proyectada de 86 habitantes y sus animales. La radiación solar mínima según el Atlas Solar del SENAMHI es de 4,50 kWh/m²/día, del software METEONORM fue de 4,87 kWh/m²/día y del software SOLARIUS PV se obtuvo el valor de 4,72 kWh/m²/día, por lo tanto, se consideró de estas tres fuentes el menor valor de radiación solar que en este caso es de 4,50 kWh/m²/día para el correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico. La bomba sumergible PEDROLLO 4SR33G de 2 HP, con su controlador, cuyos datos técnicos se encuentran adjuntos en el ANEXO 01, 08 paneles solares de la marca AE SOLAR de 250 Wp para el sistema de bombeo, 02 paneles solares marca ERA SOLAR de 200 Wp, con su controlador e inversor para el sistema de distribución.

El presupuesto total para el proyecto asciende a la suma de S/. 166 200,05.

Palabras clave: Bomba sumergible, controlador, energía solar fotovoltaica, panel fotovoltaico.

ABSTRACT

The general objective of this thesis project is to size a potable water system for the La Represa Village in the District of Jayanca using photovoltaic solar energy, in order to solve the problem of lack of water. The following investigation is of the applied, descriptive and primary data type.

It was determined that the demand for water is 12 328 L/day, to supply a projected population of 86 inhabitants and animals. The minimum solar radiation according to the SENAMHI Atlas is 4.50 kWh/m²/day, METEONORM software was 4.87 kWh/m²/day and SOLARIUS PV software obtained the value of 4.72 kWh/m²/day, therefore, the lowest value of solar radiation was considered from these three sources, which in this case is 4.50 kWh/m²/day for the correct sizing of the photovoltaic system. The submersible pump PEDROLLO 4SR33G of 2 HP, with its controller, whose technical data are attached in ANNEX 01, 08 solar panels of the AE SOLAR brand of 250 Wp for the pumping system, 02 solar panels brand ERA SOLAR of 200 Wp, controller and inverter for the distribution system. The total budget for the project amounts to the sum of S/. 166 200,05.

Keywords: submersible pump, controller, photovoltaic solar energy, photovoltaic panel.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Delimitación de la Investigación	3
1.3.1. Delimitación espacial	3
1.3.2. Delimitación temporal	6
1.4. Justificación e Importancia de la investigación.....	6
1.5. Limitaciones de la investigación.....	7
1.6. Objetivos de la TESIS	7
1.6.1. Objetivo General	7
1.6.2. Objetivo Específicos	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de Estudios	9
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	15
2.2.1. Energía Solar	15
2.2.2. Bombeo solar fotovoltaico.....	30
2.2.3. Sistema de Energía Solar	45
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada	64
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	69
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	74
4.1. Propuesta de la investigación	74
4.1.1. Equipamiento de la propuesta	75
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	77
5.1. Evaluación de la Energía Solar Disponible	77

5.2. Población actual y proyección para el Caserío La Represa en Jayanca	81
5.3. Requerimientos del Sistema de Bombeo	83
5.3.1. Cálculo de la demanda de agua	83
5.3.2. Carga dinámica total	83
5.3.3. Cálculo del Caudal requerido.....	84
5.3.4. Cálculo de la potencia de la bomba sumergible	84
5.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	87
5.3.6. Dimensionamiento para el sistema de distribución	95
5.3.7. Presupuesto referencial del Sistema Fotovoltáico para sistema de agua potable	100
5.4. Análisis económico	106
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	109
6.1. Conclusiones.....	109
6.2. Recomendaciones	110
BIBLIOGRAFÍA	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores de K usando la fórmula de Manning.....	39
Tabla N° 2: Comparación entre una bomba solar con una bomba que usa combustible	44
Tabla N° 3: Principales características de las bombas fotovoltaicas.....	61
Tabla N° 4: Operacionalización de variables.....	71
Tabla N° 5: Técnicas y Materiales.....	73
Tabla N° 6: Radiación Solar Mensual según software METEONORM 7.3.....	78
Tabla N° 7: Radiación Solar Promedio Diaria	79
Tabla N° 8: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque.....	80
Tabla N° 9: Comparativa de las tres fuentes de datos de Radiación Solar	80
Tabla N° 10: Tasa de crecimiento poblacional	81
Tabla N° 11: Tasa de crecimiento para el Departamento de Lambayeque	82
Tabla N° 12: Consumo de agua por personas y animales	83
Tabla N° 13: Datos para el Dimensionamiento del Sistema de Agua potable ..	83
Tabla N° 14: Caída de tensión permisibles	90
Tabla N° 15: Resumen de la sección de conductor a utilizar	92
Tabla N° 16: Sección mínima de los conductores de protección	93
Tabla N° 17: Selección del conductor de protección	93
Tabla N° 18: Selección de los fusibles	94
Tabla N° 19: Cuadro de cargas para TD	95
Tabla N° 20: Energía producida por el generador fotovoltaico del TD	96
Tabla N° 21: Características eléctricas del conductor unipolar NH-80.....	99
Tabla N° 22: Inversión del proyecto	101
Tabla N° 23: Flujo de caja	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque	4
Figura N° 2: Estructura solar.....	16
Figura N° 3: Mapa solar del Perú.....	22
Figura N° 4: Concepto de Horas Sol Pico	24
Figura N° 5: Panel Solar Fotovoltaico	26
Figura N° 6: Tipos de paneles solares fotovoltaicos.....	27
Figura N° 7: Conexión en serie de paneles solares fotovoltaicos	28
Figura N° 8: Conexión en paralelo de paneles solares fotovoltaicos.....	29
Figura N° 9: Conexión en serie/paralelo de paneles fotovoltaicos	30
Figura N° 10: Bombeo de agua con energía fotovoltaica	32
Figura N° 11: Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.....	36
Figura N° 12: Sistema solar para bombeo de agua en regadío.....	43
Figura N° 13: Eficiencias de diferentes configuraciones en paneles solares	48
Figura N° 14: Componentes de las estructuras.....	50
Figura N° 15: Bomba centrífuga de superficie	56
Figura N° 16: Bomba centrífuga superficial.....	57
Figura N° 17: Bomba centrífuga sumergible	57
Figura N° 18: Bomba volumétrica de cilindro.....	58
Figura N° 19: Bomba de diafragma sumergible.....	59
Figura N° 20: Instalación de paneles solares para el sistema de agua potable en el Caserío La Represa.....	74
Figura N° 21: Salidas eléctricas para sistema solar	76
Figura N° 22: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque.....	77
Figura N° 23: Bomba sumergible PEDROLLO 4SR33G/20	86
Figura N° 24: Curva y datos característicos de la bomba seleccionada	87
Figura N° 25: Datos técnicos del inversor variador de la bomba.....	88

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación titulado: “**SISTEMA DE AGUA POTABLE CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL CASERÍO LA REPRESA, DISTRITO DE JAYANCA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**”, consiste en una propuesta que permitirá solucionar el problema de falta de suministro de agua potable, bombeando agua en beneficio de los habitantes del Caserío La Represa perteneciente al Departamento de Lambayeque dando solución a un determinado problema de la sociedad utilizando conocimientos de ingeniería.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en el Caserío La Represa en cuanto a su falta de agua y de su continuidad. Luego se enuncia el problema, para luego justificar el trabajo de investigación realizado y presentar los objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se presenta el Marco Teórico, donde se muestran los antecedentes y la teoría relacionada con el tema de investigación.

En el Capítulo III, se presenta el Marco Metodológico, en el cual se describe el diseño de la Investigación es decir la forma como se van a obtener los datos y procesarlos, describiendo las Variables y su operacionalización, así como la población, además de las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo IV, se presenta los componentes del sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica.

En el Capítulo V, se presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados.

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

El problema de la disponibilidad y suministro de agua en las zonas rurales de nuestro país y la región es un problema social latente y cada vez más complicado de satisfacer; el crecimiento demográfico desordenado de las zonas rurales hace que el consumo de agua potable sea mayor cada vez, motivo por el que se busca suministrar de manera adecuada y racional.

Y debido a que en la actualidad urge la necesidad de reducir el consumo de electricidad proveniente de centrales que utilizan combustibles fósiles y de fuerte dependencia que se crea en torno a ellos.

Por lo tanto, con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para crear un sistema de agua potable proveniente de agua subterránea se combinan los avances tecnológicos asociados a la electricidad (electrobombas) junto con lo atractivo de contar con una fuente de energía autónoma y renovable.

El estado peruano promueve el uso y aplicación de las energías renovables: biomasa, solar, geotérmica, hidráulica y mareomotriz (Según el Artículo 3° de DLEG-1002-2008 y con la finalidad de contribuir a la disminución del uso de energías convencionales, reducir la emanación de los gases de efecto invernadero y el cambio climático, se propone implementar el uso de energía solar fotovoltaica para el beneficio del Caserío La Represa y así mejorar la calidad de vida de sus habitantes, que tanto necesitan.

1.2. Formulación del Problema

¿Con la implementación del sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica se logrará suministrar de agua al Caserío La Represa, ubicado en el distrito de Jayanca, perteneciente al departamento de Lambayeque?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El Caserío La Represa se encuentra ubicado en el distrito de Jayanca. **Jayanca**¹ (Sayanca: «estará de pie») es un distrito de la provincia peruana de Lambayeque, ubicada en el departamento homónimo. Se encuentra ubicado a una altura de 61 msnm, con una población de 11 681 habitantes en el año 1993.

El distrito de Jayanca fue creado en la época de la independencia, por Manongo Blanco y Adrianzen Conde Copiapó y Chanaral en el gobierno del presidente Simón Bolívar en el año 1825, posteriormente Jayanca fue elevado a la categoría de villa, mediante Ley dada en el Congreso de la República el 19 de septiembre de 1898, durante el gobierno del presidente Nicolas de Piérola. Después, fue elevado de villa a la categoría de ciudad, en merito al Decreto Ley Nro. 12419, de fecha, 7 de noviembre de 1995, siendo presidente de la República el General Manuel A. Odría y el alcalde de Jayanca, Enrique Morante Maco.

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Jayanca

Geografía⁴: Se ubica a una altura de 61 msnm y tiene una extensión de 680,96 km². La accesibilidad vial del distrito se encuentra condicionada por la Carretera Panamericana Norte, que permite la articulación e integración con los distritos de la Provincia de Lambayeque, la región y el país. Esta vía se encuentra asfaltada. Las vías vecinales están a nivel de trocha y mal conservadas, requieren ser mejoradas con el fin de convertirlas en corredores económicos internos y mejorar las condiciones de traslado de los productos de la zona. Entre las vías a nivel de trochas carrozables existen:

- Puente Tabla – El Calvario de 3,5 km.
- Callejón del Coco – Jotoro de 2,5 km.
- El Pintor – Pampa de Lino de 3,5 km.
- Sector San Antonio – El Arenal – La Tomasita – Soledad – Victoria – Tomas Arellano – Achotal – Rubio de 2,5 km.
- Pról. Grau (PP.JJ. El Salvador) – El Cautivote 2,5 km.
- Panamericana – La Viña – El Marco – El Verde
- Panamericana – Los Ángeles.
- Panamericana – Noria Nueva.

En relación al casco urbano central, este presenta vías con tratamiento en asfalto y concreto. El suelo está atravesado de norte a sur por el río Motupe formando en sus orillas un extenso valle perteneciente a la cuenca del Río La Leche. La mayoría de su territorio es llano, surcados por canales de regadío, causes de ríos como La Leche y Motupe, así

⁴ <http://municipalidadjayanca.blogspot.com/2013/08/geografia.html>

como las quebradas Anchovita, Ñusca, Sondor, entre otras. Con elevaciones como los cerros Pañala, La Viña, Zurita, Pan de Azúcar, Gallinazo, Jaguey Negro, Briseño, San Antonio, Carpintero; accidentado en algunas zonas como Las Pampas, Colorada, Mirador, Mariposa y Huacas del Gallo.

1.3.2. Delimitación temporal

El tiempo que duro la investigación fue de 06 meses.

1.4. Justificación e Importancia de la investigación

La implementación de un Sistema de agua potable utilizando energía solar fotovoltaica tiene justificación:

Justificación ambiental

Debido a la situación que se vive en el planeta producto de la contaminación por la utilización de combustibles fósiles, se han tomado medidas para optar por alternativas más amigables con el medio ambiente, como son las energías renovables para reducir en cierta medida el daño causado por los gases de efecto invernadero.

Justificación Social

El siguiente trabajo de investigación beneficiara a la población mejorando la calidad de vida de los pobladores de la localidad al implementar el sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica.

Justificación Científica.

El siguiente proyecto de investigación promueve el uso de energías renovables no convencionales. Que servirá como antecedente para futuras investigaciones relacionadas con este tema.

Justificación Técnica.

El aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica es una de las opciones para contrarrestar y mitigar los daños que la sociedad ha causado y causa en la naturaleza, por eso es que se requiere de equipos y sistemas en los cuales se implementen las diferentes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, entre las cuales se encuentra el bombeo de agua con este tipo de energía no convencional.

1.5. Limitaciones de la investigación

Con respecto a los datos de la radiación solar para su uso en el siguiente proyecto se ha limitado a los datos obtenidos del atlas solar del SENAMHI del 2003, del software Meteonorm 7.3 y del software SOLARIUS PV.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Mejoramiento de la calidad de vida.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la demanda de agua promedio diaria en el Caserío La Represa para los habitantes y animales.
- b) Evaluar la energía solar promedio diaria disponible para en el caserío en estudio.

- c) Dimensionar el sistema de agua potable por bombeo fotovoltaico.
- d) Implementar la línea de aducción, que es la tubería que sale desde el reservorio elevado y empalma con la red de agua potable que se encuentra a una distancia aproximada de 21 metros, para esto es necesario excavar zanja para la protección de la tubería.
- e) Determinar el presupuesto referencial del sistema de agua potable utilizando energía solar fotovoltaica.
- f) Determinar el VAN y TIR del sistema de agua potable.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Cabrera Peña & Fermin Montiel (2003, pág. 12) en su tesis titulado “Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua”, en esta tesis explica que se realizó un análisis para la producción de la energía eléctrica a partir de los rayos del sol, que está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Se da a conocer que una de las aplicaciones de gran importancia de la energía solar fotovoltaica es el bombeo solar de agua, ya que estos están diseñados para el suministro de agua y riego en áreas retiradas donde no se dispone de un suministro de energía convencional, o esta no es fiable.

Con estos sistemas el agua puede ser bombeada durante el día y almacenada en tanques, con lo que estará disponible durante la noche y en los días nublado. La capacidad de almacenar el agua elimina la necesidad de baterías en el sistema. Esta configuración del sistema le da una característica más fiable y económica. (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

Además, se realizó un análisis energético de un sistema de bombeo solar de agua con una potencia pico de 75 W, acoplado a una bomba monofásica, lo que permitió establecer las condiciones bajo las cuales el sistema se desempeña mejor (Carga Dinámica Total y litros producidos por día). Se llevaron a cabo mediciones de las variables involucradas en el

sistema de bombeo fotovoltaico, tales como: voltaje y corriente consumida por la bomba, irradiancia incidente y el flujo de agua producido por día. (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

Salmeron Rodrigues & Blando Rivas (2014) en su tesis titulado ESTUDIO DE PREINVERSION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE JINOTEPE⁵. En sus conclusiones establece que: los sistemas de bombeo solar son flexibles respecto a las motobombas convencionales, ya que una misma bomba puede aumentar su capacidad si se aumenta el número de módulos fotovoltaicos, hasta ciertos límites dependiendo de los componentes del sistema, entre los cuales se pueden nombrar, los límites estructurales (para soportes de módulos) y el calibre de los conductores eléctricos. Se estima que el tiempo de vida de los componentes de la electro bomba es de 5 a 10 años dependiendo de la tecnología y en el caso de una instalación con energía solar el tiempo de vida es de 20 años. La instalación de paneles de energía fotovoltaica son un sistema de amplias perspectivas de aplicación en el ámbito rural. Los sistemas de bombeo de agua con energía solar requieren de una alta inversión inicial, pero el costo de mantenimiento y operación es muy bajo, en contraste con los sistemas que utilizan combustible, donde su inversión inicial es baja y un alto costo de operación y mantenimiento. Existen beneficios asociados con los sistemas de bombeo fotovoltaicos, uno de ellos es el tiempo ahorrado por el productor durante la operación y mantenimiento del sistema. Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos operan

⁵ (Salmeron Rodrigues & Blando Rivas, 2014)

automáticamente encendiendo el equipo cuando el sol aparece en el horizonte y apagándose al atardecer. Por otro lado, la conservación del medio ambiente y el entorno ecológico para nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos, tengan asegurado un futuro sano. Por otro lado, la larga vida útil y alta confiabilidad. La vida útil de un panel fotovoltaico se estima alrededor de 20 años y durante ese periodo el porcentaje de fallas es extremadamente bajo, lo que hace un sistema de alta confiabilidad. Es muy importante concentrar esfuerzos de difusión de sistemas solares en aquellas para captar una mayor aceptación social y buen desempeño técnico. Por la parte ambiental la energía solar es una fuente renovable. Durante la operación del generador fotovoltaico no se verifican emisiones, como gases causantes del efecto invernadero.

Contexto nacional

Hernandez Quijaite (s.f., pág. 12), en su trabajo de tesis BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE ICA⁶ da a conocer qué para hacer uso de este líquido se requiere de la instalación de bombas de agua para succionar y transportar el agua a la zona de cultivo, en la cual en las zonas rurales el tendido de red eléctrica se encuentra en algunos casos a distancia considerables, para el cual hacer un tendido de una red eléctrica resultaría un poco costosa para un pequeño sistema de bombeo, cabe recalcar que, aunque recurso hídrico de la costa peruana es escaso, la disponibilidad de agua durante el año es variable, es por ello la construcción de pozos que se encuentran equipados con sistemas

⁶ (Hernandez Quijaite , s.f.)

convencionales de bombeo diésel, especialmente en sistemas de menor potencia.

Alata Rey (2015, pág. 2) en su tesis titulado “Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares - caso UNALM” el autor nos comunica que el bombeo de agua con energía solar fotovoltaica se ha vuelto una gran alternativa en las comunidades rurales y los sistemas aislados del país. Las primeras instalaciones en el Perú se remontan a 1978 donde se utilizaban motores de corriente continua de media y baja potencia (menores a 800W) directamente acoplados al generador fotovoltaico utilizando bombas centrífugas. Posteriormente, la inclusión de los motores de corriente alterna en la aplicación del bombeo fotovoltaico ofreció un avance en la tecnología de la electrónica, incrementando la fiabilidad y el rango de potencia de operación. Pero a pesar de las cuantiosas mejoras introducidas como convertidores AC/DC o inversores DC/AC todavía se sigue buscando la manera de optimizar los sistemas de bombeo fotovoltaico, su rendimiento, fiabilidad, el rango de potencia y una reducción en los costos.

Hoy en día, las necesidades básicas de agua establecen un consumo humano en áreas rurales en 20 litros/día aproximadamente. En las zonas rurales el mayor consumo de agua se produce para los sistemas de cultivos agrícolas, así como en la alimentación de animales.

En resumen, el presente trabajo consiste en el dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares fotovoltaicos para una estación de bombeo de agua. La aplicación del presente estudio se desarrollará como un programa piloto para abastecer con agua a los servicios higiénicos de

un pabellón de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Posteriormente se aplicará en todo el campus y como referencia para las comunidades rurales en donde la universidad tiene un convenio establecido. (Alata Rey, 2015)

Contexto Local

Bravo Damián & Gamarra Vílchez (S.F) en su trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGÍA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ” nos informa que Ha sido elaborado como objetivo de estudio por su importancia que tiene la utilización de las energías renovables y por el ahorro en costos de energía que significaría su implementación.

El diseño del sistema fotovoltaico fue realizado siguiendo la metodología propuesta en el capítulo tres empezando con la medición de la radiación solar utilizando el software METEONORM Versión 7,0 (demo) obteniendo como resultados un promedio anual de radiación de 5,1 kW/m² por día. Luego se estima la carga conectada utilizando una pinza amperimétrica y las hojas de datos de los equipos del laboratorio.

A continuación, identificamos el área de instalación de los paneles solares en el techo del laboratorio para luego realizar los cálculos matemáticos para determinar el Voltaje de instalación, el tipo y número de paneles solares a utilizar, la configuración de los reguladores de carga, el tipo y numero de baterías, las características del inversor y por último la disposición topológica del sistema. Para finalizar realizamos la selección de los equipos y componentes del sistema utilizando catálogos de las empresas

especializadas en el rubro, para luego determinar el costo total del sistema a implementar (Bravo Damián & Gamarra Vílchez, S.F)

Moran Santamaria (2013), en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope”⁷; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica por tener limitaciones al acceso de redes eléctricas por su distancia, altos costos de transporte y recursos energéticos limitados, lo que hace que se genere un costo elevado en la generación de energía; el cual lo llevó a la evaluación de otros recursos de energía renovable y su rentabilidad.

En este estudio, el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo (en uso productivo se hizo el diseño de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua) frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con el sistema fotovoltaico es de S/. 393 154,87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584 052,88 el cual es muy superior. (Moran Santamaria, 2013)

Baldera Chapoñan Nilcs Vicente (2018) en su tesis de Ingeniería titulada “Dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua para el Caserío Chochor en Mórrope utilizando energía solar fotovoltaica”, su objetivo

⁷ Moran Santamaria, Jorge Máximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.» Lambayeque, 2013.

general fue de dimensionar un sistema de bombeo de agua para el caserío Chochor en Mórrope utilizando energía solar fotovoltaica, con la finalidad de solucionar el problema de falta de agua.

Empieza haciendo un estudio de la demanda de agua, calculando un valor de 9 750 L/día, donde considero los 64 habitantes proyectados y sus animales. Luego, determinó de tres fuentes diferentes de datos, la menor radiación solar, de 4,55 kWh/m²/día para el cálculo del generador fotovoltaico. Seleccionando una Bomba sumergible LORENTZ PS2-600 HR-14 incluido controlador; 04 paneles solares de la marca SIMAX de 190 Wp. Se presupuestó el sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica llegando a un total de S/. 30 955,61. (Baldera Chapoñan, 2018)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energía Solar

2.2.1.1. El sol⁸

El Sol es una de las estrellas de la Vía Láctea, es decir, un astro formado por gases en estado de incandescencia, entre los que predominan el hidrógeno y el helio. Ocupa el centro del Sistema Planetaria Solar. A su alrededor giran los planetas, los satélites, los cometas, los planetoides y los meteoritos o aerolitos. El Sol es una fuente de luz, calor y vida. Sin él no habría sido posible la existencia de seres vivos. Se espera que el Sol continúe así otros 5 000 millones de años más.

El sol posee varias capas bien diferenciadas, que se pueden dividir en interior y exterior respecto a la superficie o fotosfera.

⁸ <http://www.iac.es/adjuntos/www/actividad-solar.pdf>

Se encuentra a una distancia media de 150 millones de km de nuestro planeta.

La luz solar tarda 8 minutos y 18 segundos en llegar a la Tierra.

Su elevada temperatura hace que sea un cuerpo gaseoso, mejor dicho, un plasma (el cuarto estado de la materia).

Sus movimientos principales son el de rotación, que tiene una duración de 25 días en el ecuador geográfico y 30 días en los polos; y el de traslación, que lo realiza en torno al centro de la Vía Láctea, empleando en dar una vuelta 225 millones de años.

Su temperatura varía entre los 6 000°C en su superficie y 15 millones de grados Celsius en su zona central.



Figura N° 2: Estructura solar⁹

⁹ <https://lageografia.com/geografia-astronomica/el-sol>

Interior

Lo constituyen capas que no son observables directamente. La fotosfera, un estrato de unos 300 km de grosor puede considerarse como la zona de separación entre el interior y la atmósfera solar.

El núcleo: Es la región central del Sol, con una temperatura de unos 15 millones grados. Aquí se produce la energía de la estrella, de modo que en cada segundo 564 millones de toneladas de hidrógeno se fusionan, termonuclearmente, en 560 millones de toneladas de helio. Los núcleos de hidrógeno (protones) se convierten en núcleos de helio a razón de cuatro a uno; sin embargo, hay una diferencia de masas que se libera en forma de energía, dado que los cuatro protones son ligeramente más pesados que el núcleo de helio formado. Esta diferencia se debe a los cuatro millones de toneladas por segundo que resultan sobrantes al transformarse el hidrógeno en helio.

La zona radiactiva: La primera parte del transporte de energía generada en el núcleo se realiza a través de una capa que lo envuelve, por medio de radiación muy energética que es continuamente absorbida y reemitida.

La zona convectiva: El Sol posee varias capas por encima de la radiactiva en la que la energía se traslada a la superficie o fotosfera mediante fenómenos de convección. El resultado de estas corrientes convectivas se puede ver en la fotosfera en forma de granulación. Toda la fotosfera está surcada de una trama celular parecida, por su geometría, a granos de arroz. Estas células son la

parte superior de cada una de las columnas de corrientes ascendentes –calientes- y descendentes –más frías- del transporte energético. Las dimensiones de esta granulación son considerables: cada “grano” mide unos 800 Km. de diámetro.

La fotosfera: Es la superficie solar visible directamente (con la protección adecuada), con una temperatura aproximada de unos 6 000°C. En ella pueden verse fenómenos como las manchas solares, que trataremos posteriormente y mediante las cuales es posible medir la actividad solar

Exterior

A partir de la fotosfera los fotones pueden atravesar estas capas y dispersarse en el espacio, por lo que estas zonas resultan observables.

La cromosfera: Es una capa rojiza que envuelve a la fotosfera, de unos 10 000 Km. de grosor. En ella se proyectan gases a muy altas temperaturas y sobresalen las protuberancias, especie de llamaradas que son lanzadas al espacio a enormes velocidades y que pueden alcanzar varios cientos de miles de kilómetros de altitud. Tanto la cromosfera como las protuberancias pueden verse directamente en los momentos de la totalidad de un eclipse total de Sol. En condiciones normales es necesario el uso de dispositivos o filtros especiales para su observación.

Corona: Por encima de la cromosfera está la corona, una especie de aureola con una estructura que sigue las líneas de fuerza del campo magnético solar. Está compuesta por gases a una

temperatura de más de 1 millón de grados, pero de densidad muy baja, de modo que generan poca luz y calor. Sus límites son imprecisos, hasta el punto de que puede considerarse que la Tierra se halla inmersa en sus regiones más externas donde, además de los gases, figuran abundantes partículas de polvo. La corona solar resulta visible a simple vista durante la fase de totalidad de un eclipse solar total.

2.2.1.2. Recurso Solar.

Debido a las reacciones nucleares de fusión $H \rightarrow He$ que tienen lugar en el interior del sol, unos 4 millones de toneladas de materia se transforman en energía cada segundo, similar a lo que sería un gigantesco reactor nuclear con una potencia de unos 1 026 W (o sea, del orden de unos 100 000 billones de centrales nucleares convencionales, como la de Vandellós, Ascó o Almaraz).

Una pequeñísima parte de la energía radiada por el Sol es interceptada por la Tierra, situada a unos 150 millones de km de distancia. La irradiancia solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación incidente en una superficie. En el caso del Sol, se define como la energía solar recibida por cada m^2 en un segundo. Para un día claro de verano al mediodía en España se reciben del orden de 800 W sobre un m^2 de una superficie horizontal. A lo largo de un día despejado varía, sobre todo, por la inclinación de los rayos solares. Esta inclinación es mayor en invierno, disminuyendo entonces la irradiancia solar.

La irradiancia solar en la cima de la atmósfera, en dirección perpendicular a los rayos solares, tiene un valor medio de 1,367 W/m². Este valor se denomina constante solar porque se mantiene prácticamente constante durante decenas o centenares de años, ya que, al ser básicamente dependiente de factores astronómicos o astrofísicos, su variación es muy lenta.

A su paso por la atmósfera, la radiación solar se atenúa debido a procesos de absorción y difusión que producen los gases y partículas de la atmósfera y las nubes. La irradiancia solar incidente en el suelo no suele superar los 1 000 W/m², dependiendo mucho del lugar, la hora del día, época del año y estado del cielo¹⁰

2.2.1.3. Radiación Solar¹¹.

La radiación solar la podemos definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de 0,4 [μm] y 0,7 [μm], y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta.

La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas:

¹⁰ Jerónimo Lorente en “Curso de Fotoprotección” - Departamento de Astronomía y Meteorología Universidad de Barcelona.

¹¹ <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf>

Formas¹²

Radiación directa:

Es la radiación que nos llega directamente del sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por lo tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado.

Radiación Difusa:

Es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado.

Radiación reflejada o albedo:

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

2.2.1.4. Energía solar en el Perú¹³

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año.

¹² (Bravo Damián & Gamarra Vílchez, S.F)

¹³ <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>

Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m²; 5,0 a 6,0 kWh/m² en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m² (ver Figura N° 3).



Figura N° 3: Mapa solar del Perú¹⁴

¹⁴ https://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion_anual.jpg

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú. El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente Arequipa y Puno, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos. No obstante, aún es amplio el camino a recorrer para masificar el uso de paneles solares tanto para áreas urbanas como rurales destinados al uso térmico el cual implicaría menor consumo de la red eléctrica en los hogares (una terma eléctrica es uno de los principales consumidores de energía eléctrica en un hogar).

2.2.1.5. Horas de sol pico (HSP)

Las horas de sol pico son las horas que se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 , que sumen la misma irradiación total que la real ese día.

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la siguiente figura N° 4. (Valdiviezo Salas, 2014)

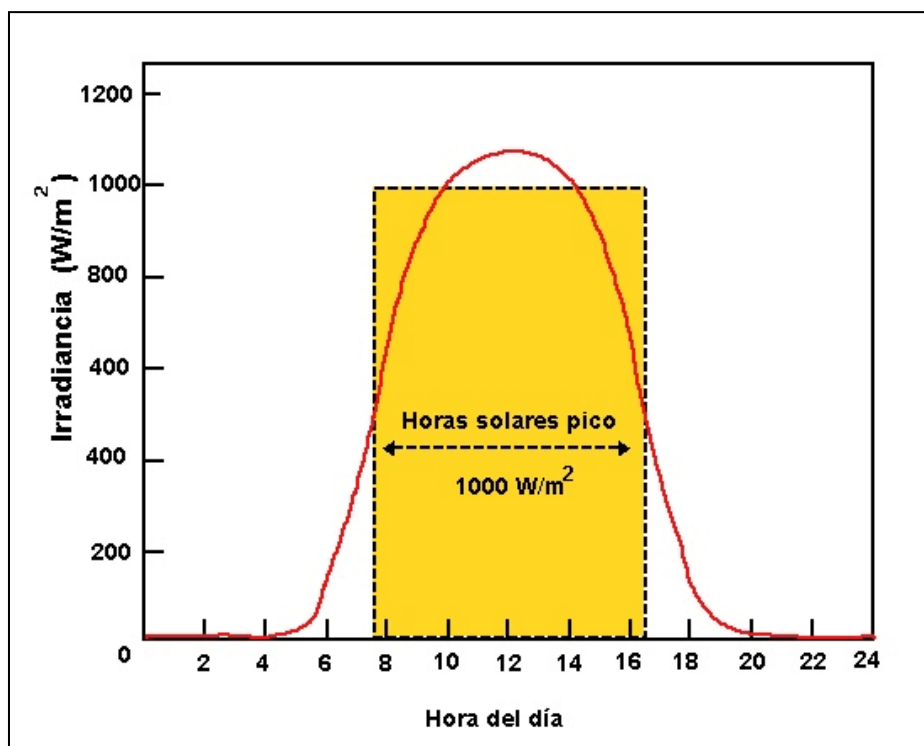


Figura N° 4: Concepto de Horas Sol Pico¹⁵

2.2.1.6. Panel Solar Fotovoltaico¹⁶

Los módulos fotovoltaicos o paneles solares son dispositivos que se utilizan para capturar la energía de la luz del Sol.

Los paneles solares fotovoltaicos contienen un conjunto de células solares que convierten la luz en electricidad. Se llaman solar porque el Sol es una de las fuentes de energía más fuertes para este tipo de uso. Las células solares a veces se llaman células fotovoltaicas, y fotovoltaica significa “luz-electricidad”. Las células solares tienen el efecto fotovoltaico para absorber la energía del Sol y hacer que la corriente eléctrica fluya entre dos capas cargadas en la dirección opuesta.

¹⁵ <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>

¹⁶ <https://solar-energia.net/definiciones/modulo-o-panel-fotovoltaico.html>

Actualmente, los costos asociados con los módulos solares se vuelven baratos en aplicaciones donde la potencia de las estaciones eléctricas está disponible. El costo de los combustibles fósiles está aumentando, y la experiencia de producción está reduciendo los costos de las células solares, esto puede no verse en un futuro muy cercano, pero a la larga la tendencia es un aumento en el uso de este tipo de energía renovable.

Es un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre sí protegidas del exterior por una estructura compuesta básicamente por un vidrio y un marco rígido.

Las células fotovoltaicas son unos elementos que gracias a las propiedades del Silicio (Si) permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica a muy baja tensión mediante el efecto fotovoltaico.

El panel fotovoltaico tiene la función de agrupar todas estas pequeñas tensiones generadas para proporcionar una tensión nominal más alta al sistema.

Los módulos fotovoltaicos proporcionan una tensión en corriente continua. El resto de los elementos del sistema fotovoltaico se encargarán de gestionar y transformar esta tensión en corriente alterna, si fuese necesario.

Los colectores solares son los paneles solares que, mediante las leyes de la termodinámica, aprovechan el calor del Sol para calentar un líquido.

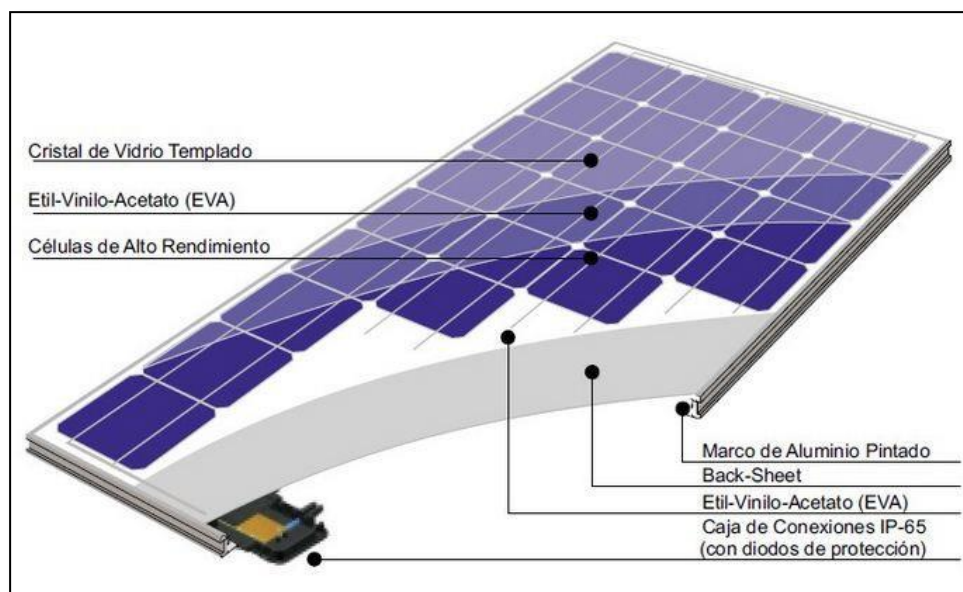


Figura N° 5: Panel Solar Fotovoltaico¹⁷

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- i. Silicio Cristalino (Monocristalino y Policristalino).
- ii. Silicio Amorfo (De capa fina).

La explicación a esta evolución se basa en el uso inicial de esta tecnología, el cual se produjo de forma más general en aplicaciones espaciales. Su relación potencia – peso era mayor que la de cualquier otra tecnología competidora. El mercado aeroespacial estaba dispuesto a pagar cualquier precio para obtener las mejores células posibles, por lo que no había ninguna razón para invertir en soluciones de menor costo si esto reducía la eficiencia. Este éxito también fue la razón de lento crecimiento.

En base a lo comentado anteriormente, en el mercado actual se pueden encontrar estos tres tipos de paneles solares fotovoltaicos:

¹⁷ <http://www.panelessolares.blog/paneles-solares/paneles-solares-fotovoltaicos/>

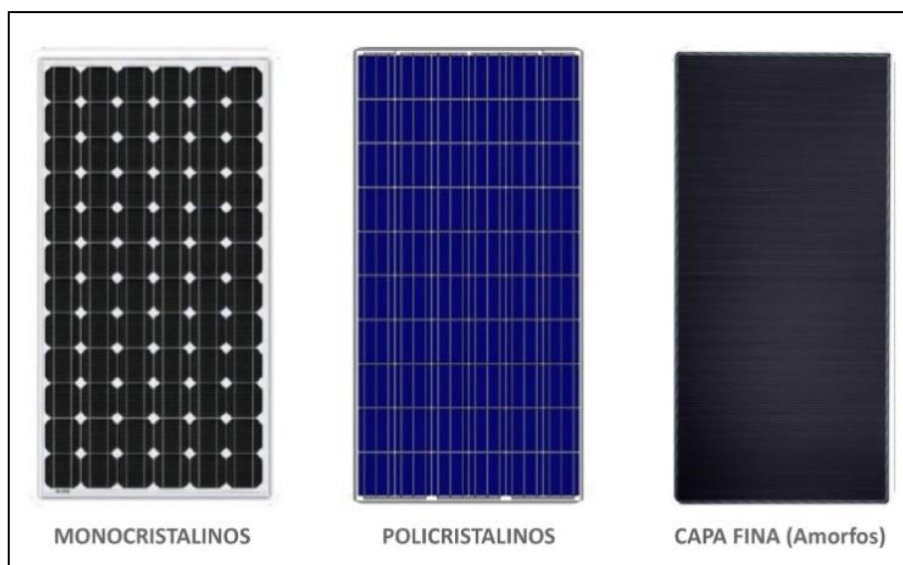


Figura N° 6: Tipos de paneles solares fotovoltaicos¹⁸

2.2.1.7. Conexión de módulos fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen¹⁹.

Se pueden realizar tres tipos de conexiones en función de las necesidades que se detallan a continuación:

- **Conexión en serie:** para elevar la tensión del generador.
- **Conexión paralela:** para elevar la intensidad de corriente del generador.

¹⁸ (TRITEC INTERVENTO, 2019)

¹⁹ (Castejon, 1998)

- **Conexión serie/paralela:** para elevar la tensión y la intensidad de corriente del generador.

a) Conexión de módulos en serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 7).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).

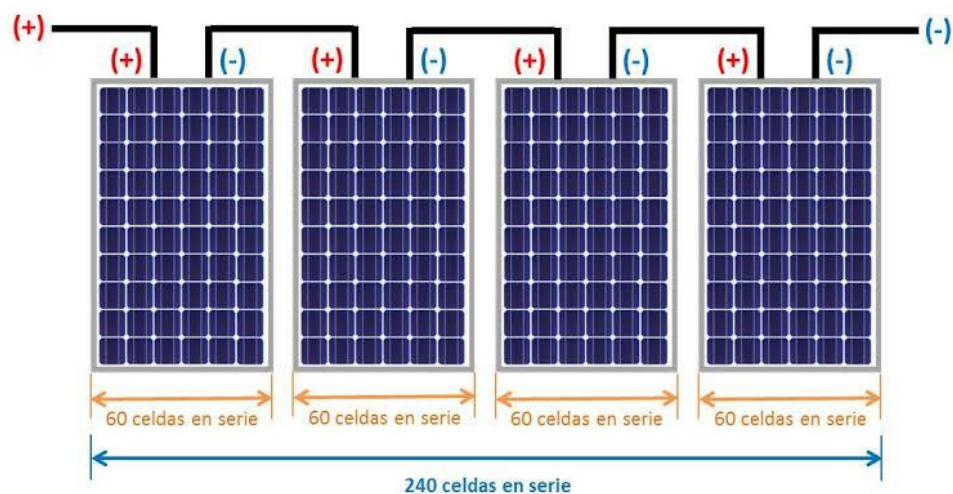


Figura N° 7: Conexión en serie de paneles solares fotovoltaicos²⁰

b) Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la

²⁰ <https://www.conermex.com.mx/blog-sombrasenpaneles.html>

corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 8.

La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo al producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características).

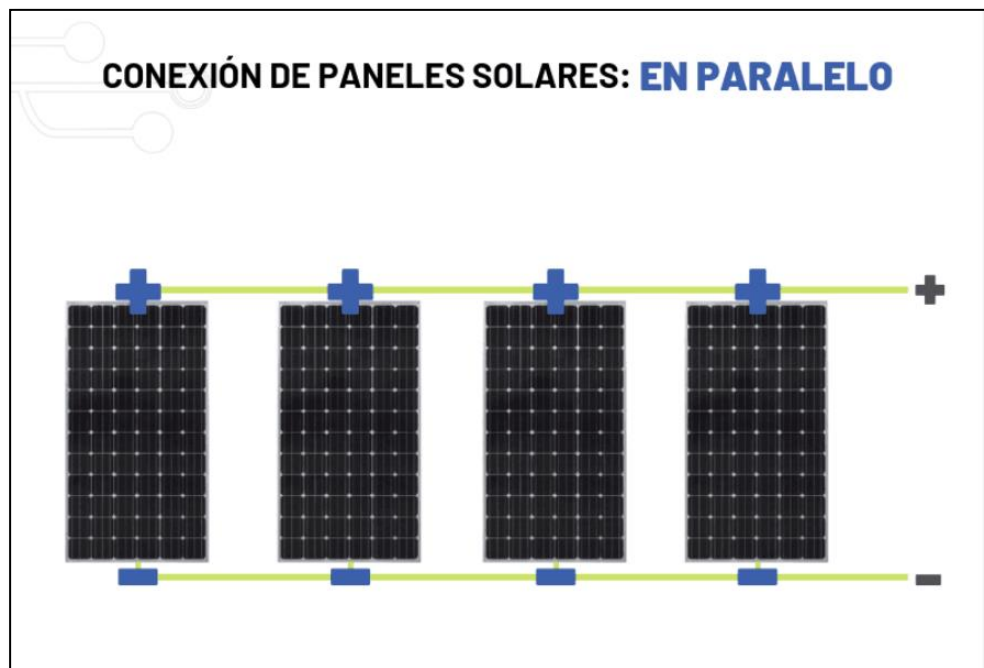


Figura N° 8: Conexión en paralelo de paneles solares fotovoltaicos²¹

c) Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo se obtiene sumando la tensión de los paneles solares en serie y la corriente eléctrica se obtiene sumando la corriente eléctrica de cada rama de paneles.

²¹ <https://suministrodelsol.com/es/Blog/potencia-segun-tipo-de-conexion-en-paneles-solares-b11.html>

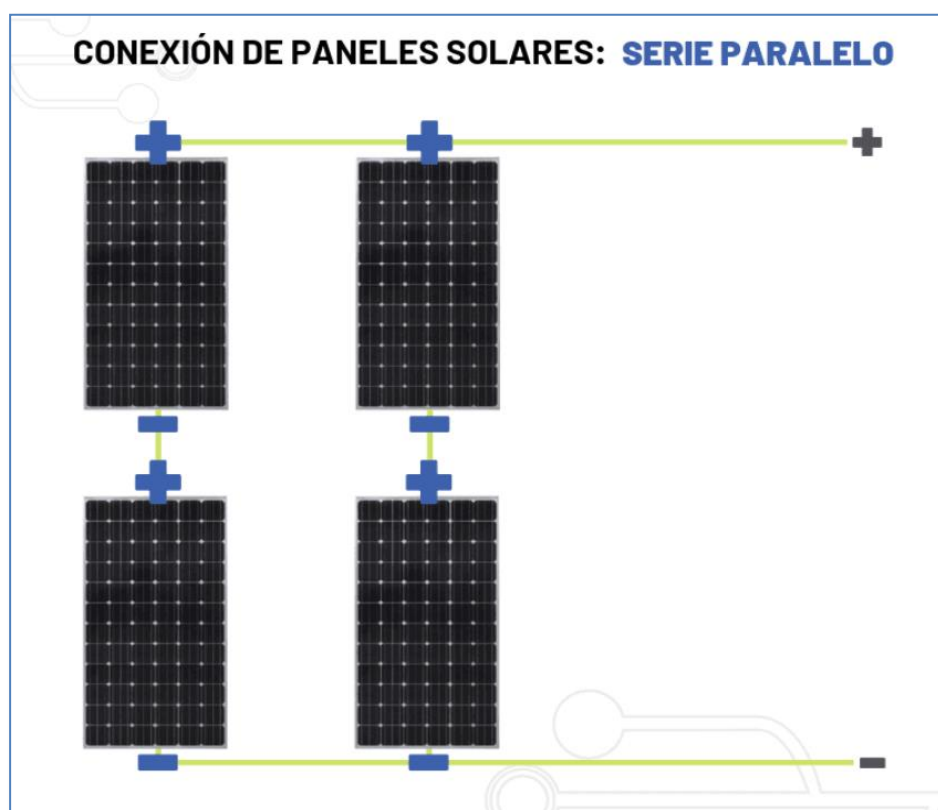


Figura N° 9: Conexión en serie/paralelo de paneles fotovoltaicos²²

2.2.2. Bombeo solar fotovoltaico

El bombeo de agua con energía fotovoltaica se presenta como una de las aplicaciones más importantes de la energía solar. Es especialmente interesante en zonas rurales en donde los pozos se encuentran en lugares de difícil acceso a la red eléctrica.

El bombeo solar de agua para riego que, aunque actualmente, resulte excesivamente costoso, es una aplicación que puede presentar en el futuro de un gran potencial de desarrollo. Teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación, coincidiendo oferta y demanda.

²² <https://suministrosdelsol.com/es/Blog/potencia-segun-tipo-de-conexion-en-paneles-solares-b11.html>

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos para riego podrán presentar ventajas económicas frente a otras tecnologías de sistemas de riegos eficientes que permitan el ahorro del agua y energía, como son los sistemas de riego por goteo y se buscará maximizar la utilización de la energía disponible mediante una rotación sistemática de cultivos o cultivos permanentes²³.

Existen dos alternativas de sistemas de bombeos fotovoltaicos que son:

a) Bombeo solar directo

El agua se extrae del pozo durante el tiempo de radiación solar únicamente, almacenándose en un depósito. Se evita los costes asociados a las baterías.

b) Bombeo con baterías

Si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

Los equipos que conforman esta aplicación son:

i. Módulos fotovoltaicos

Captan la energía del Sol y la convierten en electricidad en corriente continua.

ii. Acoplamiento módulos – bomba

Transforma la energía generada por los módulos fotovoltaicos en adecuada para el funcionamiento de la bomba.

²³ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001.

2.2.2.1. Funcionamiento del sistema de bombeo solar

Un sistema de bombeo fotovoltaico es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia como se muestra en la figura N° 12, como sus principales componentes son: un arreglo de módulos fotovoltaico, un controlador, un motor y una bomba y por último un tanque de almacenamiento. El sistema generador estará constituido por un conjunto de arreglos de módulos fotovoltaicos (paneles solares) conectados en serie o en paralelos, los cuales generarán la energía necesaria para accionar el motor bomba, intermedio a ellos se encontrará un controlador electrónico para la bomba (amplificador de corriente) es un dispositivo. (Paredes Rubio, 2001)

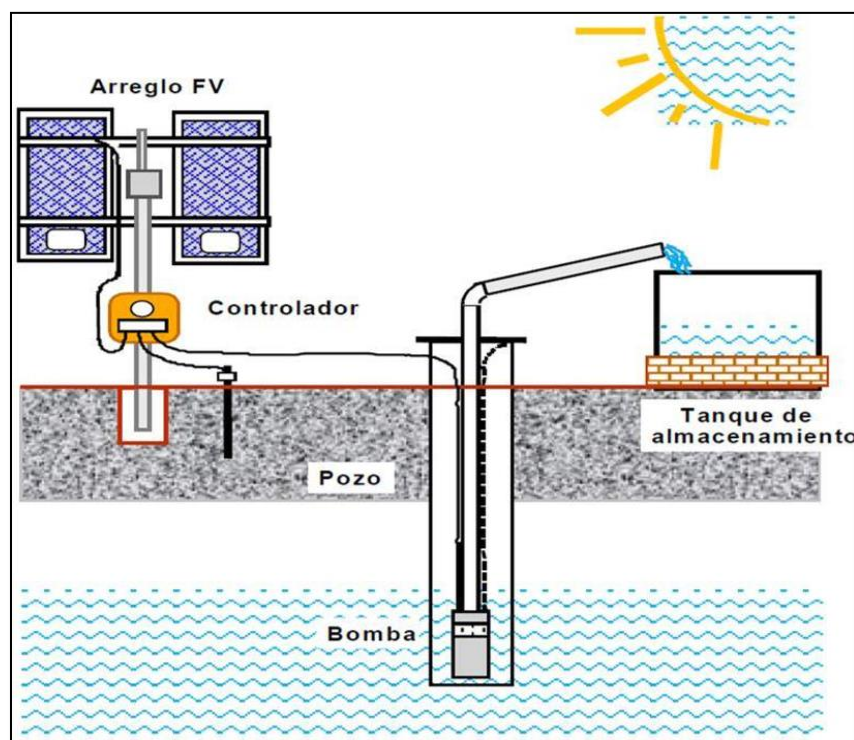


Figura N° 10: Bombeo de agua con energía fotovoltaica²⁴

²⁴ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001

Las bombas fotovoltaicas están compuestas por una serie de componentes. Hay un sistema de colectores fotovoltaicos que convierten la energía solar directamente en electricidad como corriente continua. La bomba tendrá un motor eléctrico para su accionamiento. Las características de estos componentes tienen que coincidir para conseguir el mejor rendimiento.

El motor de la bomba tiene su propia velocidad óptima de funcionamiento y carga según el tipo y el tamaño de la bomba.

El motor puede ser de corriente continua o alterna. Si es de corriente alterna entonces se necesitará un convertidor. Los motores de corriente alterna están más ampliamente disponibles.

Los convertidores se han hecho baratos y eficientes. Los sistemas de bombeo solar usan convertidores especiales con una frecuencia variable controlada electrónicamente, lo cual optimiza su emparejamiento con el panel y la bomba. Un típico sistema de corriente alterna también necesita baterías lo cual requiere mantenimiento y añade costes adicionales, ya que el sistema sería menos eficiente y necesitará paneles solares más grandes.

Debe tenerse presente que la solución más simple y económica es acumular agua en lugar de energía eléctrica, usando una cisterna. Su incorporación permitirá minimizar el efecto causado por las variaciones estacionales de los recursos hidráulicos o desperfectos que interrumpan su funcionamiento, almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías.

Después de 5 a 7 años, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas, el almacenamiento por baterías normalmente se justifica solo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche, en general no se recomienda utilizar baterías en los sistemas de bombeos fotovoltaicos, además se recomienda que al almacenar agua se hará para tres días de abasto. (Paredes Rubio, 2001)

El régimen del funcionamiento del sistema corresponderá con la situación en la que la potencia suministrada por el generador fotovoltaico sea igual a la absorbida por el motor, lo mismo que la tensión y la intensidad proporcionada por el sistema generador serán las aplicadas al motor.

Para diseñar un sistema será necesario conocer el rendimiento del sistema de bombeo que es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica absorbida.

En los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua, la energía necesaria para accionar la bomba proviene del sol. La energía solar es captada y transformada en energía eléctrica por medio de los dispositivos llamados celdas solares los cuales son la base de la construcción de los módulos fotovoltaicos.

El sistema generador (paneles solares) deberá elegirse de manera que el punto de trabajo este lo más próximo posible de su punto de

máxima potencia ya que son la parte principal del sistema de bombeo fotovoltaico. (Paredes Rubio, 2001)

2.2.2.2. Descripción del sistema de bombeo solar

Los factores principales que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

a. Las condiciones hidráulicas

La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo, hasta un depósito de almacenamiento).

La profundidad del nivel de agua en el pozo debajo de la superficie.

Las pérdidas adicionales debido a la presión, fricción y accesorios (altura dinámica).

b. La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, es determinada por la radiación solar y las condiciones climáticas

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o corriente alterna, etc.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba.
- Subsistema de acumulación y distribución.

Analicemos los factores que determinan la configuración del sistema²⁵.

2.2.2.3. Análisis hidráulico de un sistema de bombeo de agua

Antes de determinar el tamaño del sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD). (Paredes Rubio, 2001)

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = \text{Nivel estático} + \text{abatimiento} + \text{altura de descarga} + \text{fricción} \dots (1)$$

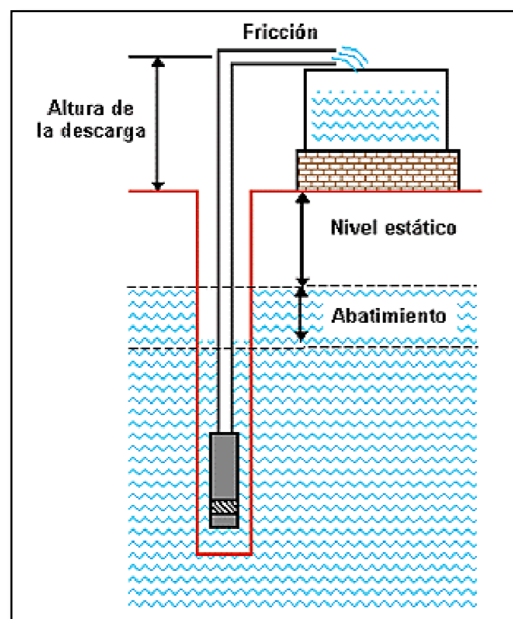


Figura N° 11: Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua²⁶

²⁵ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001

²⁶ (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

Carga Dinámica Total²⁷

Consiste en cuatro factores principales:

- a) El flujo o caudal de consumo diario promedio: Es la cantidad de agua que se consumirá en un día, tanto de verano como de invierno, ya que los seres vivos no consumimos agua de la misma forma en las diferentes estaciones del año.
- b) La profundidad donde será instalada la bomba dentro de un pozo, noria, ojo de agua o cárcamo de captación en el cauce de un río.
- c) Pérdidas por fricción de la tubería, estas son representadas por el tipo de material que está compuesto el conducto: PVC, acero, poliestireno, etc.; las curvas, uniones y válvulas con las que se componga el sistema.
- d) Los metros de elevación entre la boca del pozo, hasta la descarga en el depósito de captación, es llamado desnivel y es un factor importante a vencer.

Teniendo en cuenta estos factores, se podrá calcular la carga dinámica total y se expresa en metros. Así podremos analizar la ficha técnica o curva de desempeño de la bomba aproximada a las necesidades de gasto y CDT a vencer.

Carga dinámica (Fricción)

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del

²⁷ <https://www.syscomblog.com/2018/02/sistema-de-bombeo-de-agua-con-energia.html>

material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos mayor resistencia producirá.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras²⁸.

Valor por omisión

La carga dinámica es aproximadamente el 2 % de la distancia de recorrido del agua. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio.

Fórmula de Manning

Este es un método matemático que se puede realizar fácilmente con una calculadora de bolsillo. La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = K \times L \times Q^2 \dots (2)$$

Donde:

H_f : Incremento en la presión causada por la presión y expresada en metros (m).

²⁸ (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

K: Constante empírica con unidades de $(m^3/s)^{-2}$.

L: Distancia total recorrida por el agua en las tuberías. Su unidad es el metro (m).

Q: Caudal expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s) .

Tabla N° 1: Valores de K usando la fórmula de Manning²⁹

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9544491	1261034	291815	31282	7236
Galvanizado	19909642	2,631046	608849	65263	15097

Para la determinación de la energía hidráulica es necesario conocer en primer lugar las necesidades de agua, que las referiremos a los valores diarios medios de cada mes. Se puede distinguir entre el consumo continuo, como el abastecimiento de agua potable, tanto para las personas como para el ganado, consumos estacionales como son los debidos al riego de cultivos. Las necesidades de agua en las zonas rurales son de aproximadamente 25 a 50 litros por persona. Para el uso agrícola varía según el cultivo y las condiciones climatológicas del lugar. Se estima, en 50 a 300 m³ por hectárea/día.

Para el cálculo de la energía hidráulica diaria mensual se empleará la siguiente expresión:

$$E_h = \rho \times g \times V \times h \dots (3)$$

Donde:

²⁹ (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

ρ : Densidad del agua (1000 kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

V : Volumen de agua por día (valor medio del mes en m³/día).

h : Altura manométrica total de elevación.

La altura manométrica h es la suma de la altura estática o geométrica y la altura dinámica debida a las pérdidas de presión cuando el líquido se desplaza en el interior de una tubería.

La altura geométrica o estática es la diferencia de cotas entre el agua en la fuente que puede variar cuando se bombea, y el agua en la salida.

La altura dinámica (h_p) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$h_p = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots (4)$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción

L : Longitud de la tubería (m).

D : Diámetro hidráulico (m)

V : Velocidad media del fluido (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

En el caso que se encuentre en el circuito otro tipo de accesorios como codos, válvulas, etc., se podrá emplear para ellos la siguiente expresión para el cálculo de las pérdidas de cargas en estos accesorios:

$$h_s = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots (5)$$

Donde K es un coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Es frecuente usar tablas en las que se indica las pérdidas de carga en función del caudal y el diámetro de la tubería.

Como el diámetro de tubería aún no se conoce lo normal es fijar la altura dinámica en un 10 % de la altura geométrica, ya que no debe ser mayor, y posteriormente elegir las tuberías y accesorios para que este valor no sea superado.

Aplicaciones del bombeo solar de agua

El bombeo de agua con el Sol representa distintas ventajas sobre otras alternativas de bombeo pudiendo reemplazarlos y permitir el bombeo de agua anteriormente imposible desde diferentes fuentes. Su utilización es posible en muchas aplicaciones entre las que se destaca:

- Riego de cultivos desde grande hasta pequeña escala.
- Riego de pasto para ganado.
- Provisión de agua para ganado y crianza de animales.
- Provisión de agua para acuicultura (crianza de tilapias, camarones, etc.).
- Transferencia de agua entre piscinas.

Los sistemas de bombeo solar son ideales para proveer agua desde quebradas profundas y aplicaciones de bombeo intensivo de agua.

Para riego

Mucho más económico que bombeo con combustible, sin gastos de combustible y mantenimiento sin faltar a regar por problemas con motores que no arrancan. Tampoco se paga planillas eléctricas.

Silencioso y sin mantenimiento, las bombas no hacen mucho ruido y no se necesita dedicar tiempo para comprar y llevar combustible. Mayor producción con bombeo todos los días, agua de poco a poco para las plantas sin estresarlas, mejor que inundar a las plantas una vez a la semana.

Se puede implementar el bombeo de agua con energía solar para todo tipo de riego:

- Riego con goteos: Alimentación de agua directa desde la bomba hasta la tubería.
- Riego por aspersión: Alimentación de agua directa desde la bomba con caudal controlado o con a través de tanque elevado.
- Riego por inundación: Alimentación de agua directa desde la bomba a los cultivos todos los días con el Sol.

Además, el bombeo con energía solar sirve para todo tipo de cultivo: pasto, cacao, banano, caña de azúcar, flores, hortalizas, arroz, frutas, viveros, maíz, etc.

Para ganado

Más económico en uso continuo sin gastos de combustible o reparaciones.

Sin gastos en viajes de compra de combustibles.

Se puede sacar agua desde fuentes inaccesibles tales como quebradas profundas y esteros que se encuentran lejos.

Operación automática con encendido y apagado al llenar los bebederos o secarse la fuente de agua.

Más agua en días soleados cuando los animales justo toman más agua.

La alternativa de bombeo preferida por ganaderos en todo el mundo.

Para piscinas

El bombeo con energía solar es ideal para:

Filtración e agua en piscinas de Natación.

Transferencia de piscinas en camaroneras, crianza de tilapias.

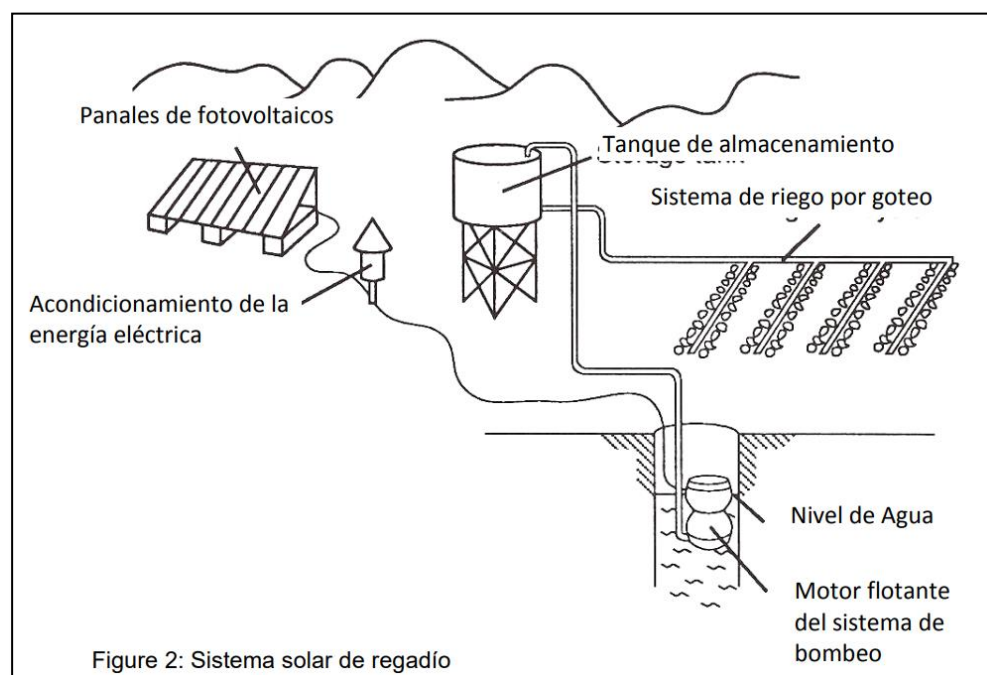


Figura N° 12: Sistema solar para bombeo de agua en regadío³⁰

³⁰ Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica/Practical Action

Ventajas del sistema de bombeo de agua con energía solar

Las ventajas de la energía solar para bombeo de agua hacen de este sistema el más idóneo para dicha función:

Se da una excelente coincidencia entre la mayor radiación solar existente con el periodo de mayor necesidad de riego.

Extrae el agua sin gastos energéticos y no requiere apenas mantenimiento.

Funciona con total fiabilidad y de una forma especialmente cómoda para el usuario.

No emite ninguna contaminación al medio.

Un panel fotovoltaico supera los 40 años de vida.

Existen ayudas para la energía solar por parte de la Administración.

Además, en tabla 3 se muestra una comparación acerca del uso de una bomba con generador diésel con una bomba solar, con el fin de mostrar que la bomba solar presenta una gran ventaja para contrarrestar los fenómenos de impacto al medio ambiente que genera la bomba al utilizar combustible convencional.

Tabla N° 2: Comparación entre una bomba solar con una bomba que usa combustible³¹

BOMBEO CON GENERADOR DISSEL	BOMBEO SOLAR
- Riesgo de contaminación del agua (derrame de combustible).	- No hay riesgo de contaminación del agua.
- Problemas de suministro y transporte del combustible.	- No precisa combustible.
- Elevado costo del carburante.	- No precisa mantenimiento.
- Mantenimiento periódico del generador dissel.	- No produce ruidos ni olores.
- Produce ruidos molestos y olores desagradables.	- A mayor radiación solar mayor cantidad de agua bombeada.
- Alto costo de la reparación de averías.	- La temporada de riego suele coincidir con la época de mayor radiación solar.

³¹ (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

2.2.3. Sistema de Energía Solar

2.2.3.1. Módulo Fotovoltaico

Es el elemento principal, que realiza la conversión de la radiación solar a energía eléctrica, a través del efecto fotovoltaico. Las células solares proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, además de ser extremadamente frágiles y eléctricamente no aisladas. Es por ello, que su utilización exige la interconexión de varias células para aumentar su voltaje y su intensidad, y la protección y ensamblaje del conjunto para constituir una única estructura, que se conoce como panel o modulo solar³².

Tipos³³:

Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

- Silicio monocristalino:

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7%. La eficiencia de estos módulos para comercializarlos ha llegado hasta el 18%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado. Proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

³² (ORELLANA LALANGUI & SARANGO CHAMBA, 2015)

³³ (ABAD MARIÑOS & FLORES MENDO, 2016)

- **Silicio policristalino:**

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles poli cristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19,8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo y la garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.

- **Silicio amorfo:**

Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Los átomos de silicio que forman el sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino.

Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

- **Teluro de cadmio:**

Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.

- **Arseniuro de Galio:**

Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25,7% siendo los comerciales del 20%.

Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico

La eficiencia del panel está determinada por el tamaño total del panel, el tamaño individual de la celda y su diseño.

También influye el número y tipo de celdas utilizadas, el diseño del bus bar, la distancia entre celdas y la interconexión de ellas.

Incluso, aunque no lo parezca, el color de la lámina posterior protectora del panel puede afectar la eficiencia, ya que una lámina posterior negra absorbe más calor, lo que reduce la eficiencia de la celda. Los paneles con células IBC son generalmente los más eficientes, seguidos de las células monocristalinas tipo half-cell y de múltiples bus bars, las células mono shingled y finalmente las células estándar mono de 60 células (4-5 barras).

Los paneles policristalinos comunes de 60 celdas son generalmente los paneles menos eficientes, pero de menor costo.



Figura N° 13: Eficiencias de diferentes configuraciones en paneles solares³⁴

Eficiencia en la practica

En la vida real, la eficiencia operativa del panel depende de una serie de factores externos que se enumeran a continuación, lo que pueden contribuir a reducir enormemente la eficiencia tanto del panel como del sistema en general:

- Temperatura de la celda
- Sombreado
- Orientación del panel
- Ubicación (latitud)
- Época del año
- Polvo y suciedad

³⁴ (TRITEC INTERVENTO, 2019)

Los dos factores que tienen el mayor impacto en la eficiencia del panel en la vida real son la temperatura de la celda y el sombreado. Por supuesto, si un panel está completamente sombreado, la potencia de salida será casi cero, pero el sombreado parcial también puede tener un gran impacto, no solo en la eficiencia del panel, sino también en la eficiencia del sistema. Por ejemplo, un ligero sombreado puede reducir la potencia de salida del panel en un 50% o más, lo que a su vez reduce la potencia del string en un 20-30%. Los strings están conectados en serie y sombrear un panel afecta a todo el string. Por lo tanto, es muy importante tratar de reducir o eliminar el sombreado si es posible.

Afortunadamente, existen dispositivos adicionales especiales conocidos como optimizadores y microinversores que pueden reducir el efecto negativo del sombreado en todo el string, especialmente cuando solo unos pocos paneles están sombreados.

2.2.3.2. Estructura para módulo fotovoltaico

Son las Encargadas de Sostener el módulo fotovoltaico para obtener el Angulo de inclinación óptimo y así tener la mayor eficiencia del módulo fotovoltaico. Son fabricados en Acero Inoxidable y aluminio, y tienen un gran beneficio para la Limpieza y mantenimiento del módulo fotovoltaico.



Figura N° 14: Componentes de las estructuras³⁵

2.2.3.3. Subsistema Motor – Bomba

El subsistema para el funcionamiento del bombeo de agua potable se define en 2 partes:

a. Motores

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados.

³⁵ Ficha Técnica de “ESTRUCTURA SOLAR”, Marca CONNMERA

Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound. Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos. (Paredes Rubio, 2001)

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor. Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominal y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento, así como el flujo magnético.

Las principales ventajas de los motores de corriente continua son sus altos rendimientos, el no necesitar un inversor y se adaptan bien para su acoplamiento directo al generador fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna están más extendidos siendo más fácil de encontrarlos en potencias mayores. Son más baratos y eficientes que los de corriente continua, pero obligan a la instalación de un sistema inversor y a dispositivos que permitan proporcionar o reducir las altas corrientes que suelen requerir en el arranque lo que encarece el sistema fotovoltaico. (Paredes Rubio, 2001)

Los motores de corriente alterna, constan igualmente de dos partes de rotor y estator. En el inducido, que suele estar en el estator, las corrientes alternas que lo recorren producen un campo magnético giratorio como consecuencia de la superposición de tres campos magnéticos alternantes desfasados en el espacio y el tiempo o por descomposición de un campo magnético alternante senoidal en dos campos magnéticos giratorios en sentidos contrarios.

Los motores de corriente alterna se caracterizan generalmente por sus tensiones nominales, la intensidad nominal, la potencia nominal, por su velocidad de giro en función de la frecuencia de alimentación, y por su par motor.

b. Bombas

Una bomba es la máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Se puede distinguir dos tipos principales de bombas: bombas de desplazamiento positivo o volumétricas y bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte móvil obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas. La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales. (Paredes Rubio, 2001)

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo. No son recomendables para alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones

determinado. Además, el rendimiento de las bombas centrífugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrífugas reúnen una serie de ventajas entre las que destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque. (Paredes Rubio, 2001)

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de agua se hace en altura. Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura manométrica. Las de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no sufren grandes oscilaciones, permitiendo la altura de aspiración dentro de un rango admitido por la bomba, generalmente < 6 m. en algunos casos las bombas son auto aspirantes como las utilizadas en piscinas que no requieren cebado de la tubería de aspiración (generalmente, h aspiración < 3 m). (Paredes Rubio, 2001)

2.2.3.4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia

constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia de la bomba. Por esta razón se han creado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y volumétricas³⁶.

a) Bombas centrífugas³⁷

La bomba centrífuga más común tiene paletas acopladas a un mecanismo rotativo de alta velocidad el que, básicamente, “tira” el agua hacia arriba. Algunos modelos incorporan, dentro del cuerpo de la bomba, hasta tres etapas de bombeo centrífugo, las que trabajan una a continuación de la otra. Las bombas a chorro son consideradas como centrífugas. En estas bombas un mecanismo rotativo crea un fuerte chorro, el que empuja, dentro de la bomba, el agua a extraerse. Es típico que por cada unidad de volumen inyectada se extraigan dos, lo que representa un balance neto de una unidad. Las bombas centrífugas pueden ser sumergibles o de superficie y resultan útiles cuando se requieren abundantes caudales de agua en pozos de poca profundidad. Cuando la fuente

³⁶ (Paredes Rubio, 2001)

³⁷ (Paredes Rubio, 2001)

hidráulica es de superficie (lagunas, ríos o cisternas) este tipo de bomba representa la mejor solución. El uso más común para este tipo de bombas es la irrigación de sembrados. La Figura 15 muestra una bomba centrífuga de superficie con autocebado.

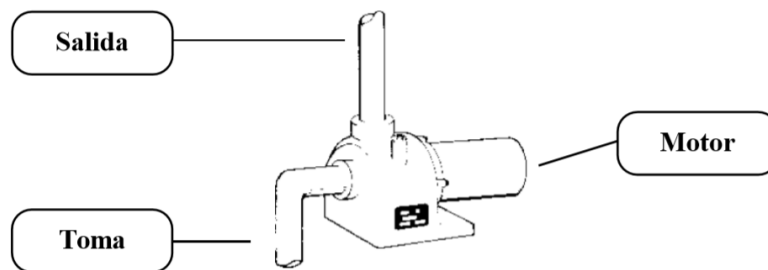


Figura N° 15: Bomba centrífuga de superficie³⁸

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple. (Paredes Rubio, 2001)

³⁸ http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf



Figura N° 16: Bomba centrífuga superficial³⁹

Todas las bombas sumergibles están selladas y tienen el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco por que sufren sobrecalentamiento. (Paredes Rubio, 2001)

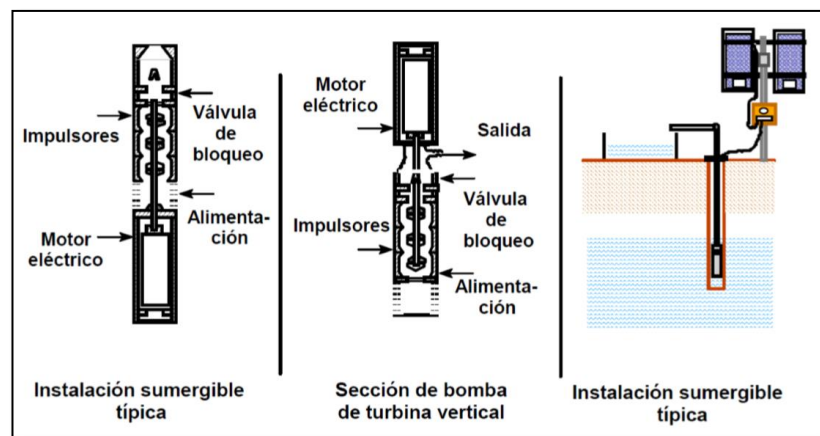


Figura N° 17: Bomba centrífuga sumergible⁴⁰

³⁹ <https://www.tuandco.com/hasa-electrobomba-centrifuga-monobloc-de-superficie-monofasica-niza-de-0-5-a-2-c-v>

⁴⁰ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001

b) Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas.

Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombea es mayor, ver figura N° 18.

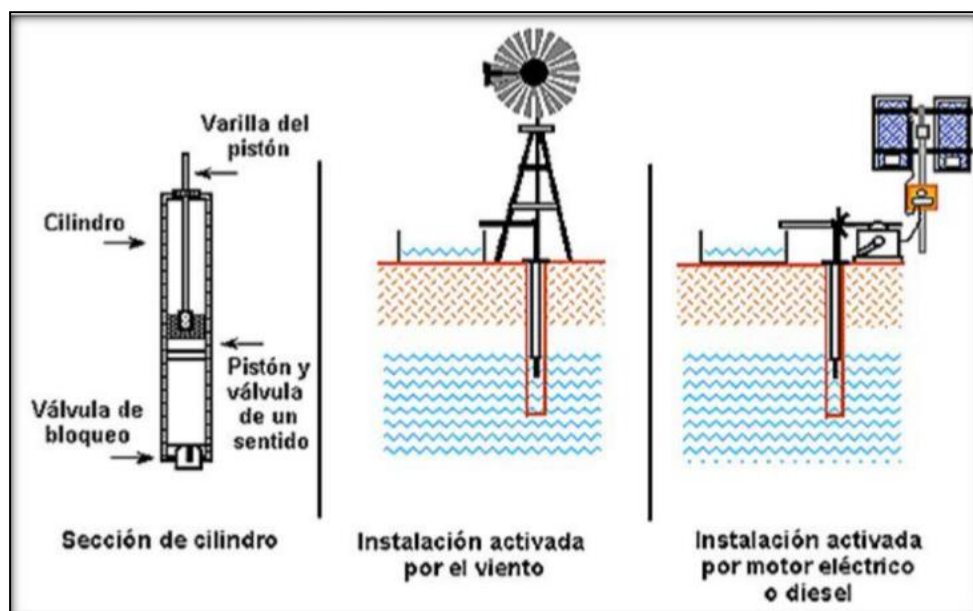


Figura N° 18: Bomba volumétrica de cilindro⁴¹

⁴¹ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001

c) Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles. (Ver figura N° 19)

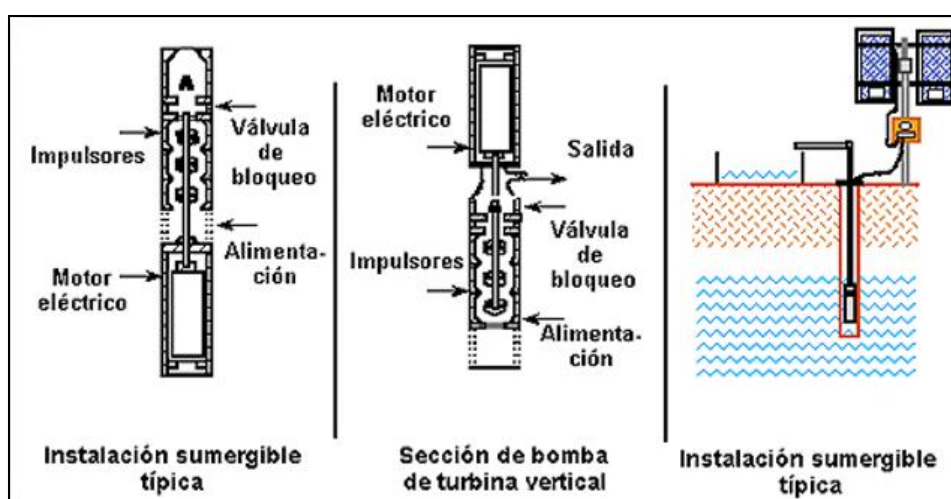


Figura N° 19: Bomba de diafragma sumergible⁴²

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un

⁴² Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001

motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso. (Paredes Rubio, 2001)

2.2.3.5. Selección de la bomba

Las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que, en un sistema fotovoltaico, la energía cuesta dinero. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de una bomba. Un solo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

Las bombas más eficientes son el desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para los gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total.

En el diagrama siguiente indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga dinámica total del sistema de bombeo. (Paredes Rubio, 2001)

Tabla N° 3: Principales características de las bombas fotovoltaicas⁴³

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Pueden utilizar el agua como lubricante. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Operan a cargas dinámicas grandes. Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.
Centrífugas de succión superficial	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	Soportan cargas dinámicas muy grandes. La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro. Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos. No dan grandes flujos.
Diafragma	Operan a cargas menores de 40 metros. Son muy económicas.	No toleran arenas o sedimentos. No trabajan a cargas dinámicas grandes Bajos flujos.

⁴³ (Paredes Rubio, 2001)

2.2.3.6. Subsistema de acumulación y distribución

Si el caudal diario es insuficiente, se puede incorporar un banco de baterías, lo que permite el bombeo nocturno. Esta adición obliga a expandir la capacidad de generación y a incorporar un banco de baterías, lo que aumenta el costo del sistema.

Debe tenerse presente que la solución más simple y económica es acumular agua en lugar de energía eléctrica, usando una cisterna. Su incorporación permitirá minimizar el efecto causado por las variaciones estacionales de los recursos hidráulicos desperfectos temporarios que interrumpan su funcionamiento.⁴⁴

Los elementos de aplicación o de distribución del agua de riego más apropiados para los riegos fotovoltaicos son los goteros por las bajas alturas manométricas que requieren para su funcionamiento y el uso eficiente del agua que se consiguen.

Los sistemas de riego por goteo son altamente eficientes en la utilización de agua, requiriendo menor cantidad que cualquier otro sistema de riego agrícola.

Son versátiles pueden ser utilizados tanto en la producción agrícola doméstica, como en viveros forestales, ornamentales o de bien en producción agrícola comercial a baja escala.

⁴⁴ http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf

Requieren de baja presión, funcionan con baja presión de agua o solo con la fuerza de gravedad, por eso no requieren de bombas de presión o equipos complejos.

Son sistemas funcionales son de fácil instalación, uso y mantenimiento, y pueden ser instalados temporal o permanentemente en las áreas de producción. Su apropiada utilización y mantenimiento brinda una garantía entre cinco a siete años de vida útil⁴⁵.

2.2.3.7. Controlador

Los controles electrónicos pueden mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar, bien diseñado, del 10 al 15 %. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controladores electrónicos consumen del 4 al 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico)⁴⁶.

⁴⁵ (Paredes Rubio, 2001)

⁴⁶ (Díaz Corcobado, 2008)

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Generador fotovoltaico

Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.

Rama o serie fotovoltaica

Subconjunto de módulos conectados en serie o asociaciones serie paralelo con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

Potencia nominal del generador

Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Potencia instalada fotovoltaica o potencia nominal

Suma de potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de funcionamiento.

Célula solar o fotovoltaica

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

Densidad de potencia incidente en una superficie o a energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m^2 .

Irradiación

Energía incidente por unidad de superficie y a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Se mide en kWh/m^2 .

Instalación fotovoltaica

Aquella que se disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio.

Instalaciones fotovoltaicas interconectadas

Aquellas que normalmente trabajan en paralelo con la empresa concesionaria de energía eléctrica.

Módulo o panel fotovoltaico

Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Arreglo solar: Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.

Caja de conexión: Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.

Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que esta ópera.

Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).

Conexión en paralelo: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

Conexión en serie: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

Conductor eléctrico: Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan “hilos” fabricados generalmente de cobre o aluminio.

Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Constante solar: Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1,36 kW/m².

Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.

Curva I-V: Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.

Diodo de bloqueo: Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.

Diodo de bypass: Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.

Eficiencia de la celda: Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)

Interruptor: Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.

Kilowatt: Mil watts (1 kW = 1 000 W)

Masa de aire: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

Megawatt: Un millón de watts (1 MW = 1 000 000 W)

Módulo o módulo solar fotovoltaico: Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.

Potencia eléctrica: Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el megawatt (MW).

Punto de máxima potencia: Punto de la curva I-V en donde el producto $I \cdot V$ (potencia) tiene su valor máximo.

Tensión eléctrica: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V).

Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m^2 , 25°C y $1,5$ de masa de aire).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada: La investigación aplicada sirve para lograr conocimiento con la aplicación directa a los problemas de la sociedad, en la vida diaria o el sector productivo e industrial. En este caso aplicaremos los conocimientos de ingeniería para lograr implementar un sistema de bombeo de agua potable utilizando la energía solar fotovoltaica con el fin de beneficiar a la población del caserío La Represa y con ello mejorar su calidad de vida.

Es investigación de Datos Primarios: Debido a que los datos han sido extraídos por el propio investigador de la misma población en estudio.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación es no experimental: Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos⁴⁷.

3.2. Población y muestra

La población está conformada por las unidades de vivienda y a los animales que cada familia posee del Caserío La Represa en Jayanca.

No se considera muestra, puesto que se trabajará con toda la población de dicho caserío.

⁴⁷ <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion37.htm>

3.3. Hipótesis

¿Con la implementación de un sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica se logrará suministrar agua en forma continua y eficiente al Caserío La Represa, ubicado en Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque?

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente: Radiación solar fotovoltaica

Y: Variable dependiente: Sistema de agua potable

Tabla N° 4: Operacionalización de variables⁴⁸

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Variable independiente Radiación solar fotovoltaica	La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial ⁴⁹ .	Determinar la radiación solar fotovoltaica.	Radiación solar promedio (kWh/m ² /día)
Variable dependiente Sistema de agua potable	El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación ⁵⁰ .	Dimensionamiento y especificación de los equipos del sistema de bombeo fotovoltaico para satisfacer la demanda de agua.	Caudal diario requerido (m ³). Dimensionamiento de la bomba sumergible. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos (Wp). Dimensionamiento de conductores eléctricos (mm ²). Dimensionamiento el tanque de almacenamiento (m ³).

⁴⁸ Elaboración propia.

⁴⁹ <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>

⁵⁰ <http://www.sistemahtf.com/index.php/el-sistema-de-bombeo>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Métodos

Para poder desarrollar este proyecto de investigación, se utilizó el método deductivo a partir de las teorías, leyes y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), las mismas que se aplicarán para calcular, dimensionar y seleccionar los materiales y equipos para el sistema. Las técnicas empleadas fueron las siguientes:

Técnicas

a) Observación Directa

Al usar esta técnica, se pudo conocer el estado en que se encuentra el Caserío La Represa, tanto en el aspecto social, económico y ambiental.

b) La Entrevista

Al mismo tiempo, se utilizó la técnica de la entrevista, para poder determinar el número total de habitantes, así como también de los animales en cada vivienda, para poder calcular la demanda de agua promedio diaria.

c) Análisis de contenido

Este tipo de instrumento se utilizó para obtener información de las diferentes bibliográficas sobre Sistemas de Bombeo de Agua utilizando Energía Solar Fotovoltaica.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada, tenemos los siguientes materiales:

Tabla N° 5: Técnicas y Materiales

TÉCNICAS	MATERIALES
Observación Directa	Cuaderno de apuntes, fichas de campo, fotografías
Entrevista	Cuaderno y lapicero
Análisis de Contenido	Libros, Tesis, Revistas, Páginas Web de Internet.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Para el tratamiento y uso de los diferentes datos se hará uso de la Estadística Descriptiva, específicamente se utilizará los valores de tendencia central como son el promedio y el valor mínimo de un conjunto de datos, con el propósito de asegurar que aun en las peores condiciones, el sistema de bombeo logre suministrar el caudal de agua necesario para la población en estudio.

Con respecto a los valores de la radiación solar, se utilizó el Atlas de Energía Solar del Perú, el uso del Software Meteonorm, cuyos datos se detallan en el siguiente estudio.

Para los consumos de agua por persona y animales, utilizaremos valores promedios de consumo consultando diferentes bibliografías.

Y, por último, con respecto a la tasa de crecimiento poblacional, calcularemos el promedio de las diferentes tasas de crecimiento a lo largo de un periodo de tiempo, obtenidos por el INEI.

Los datos serán organizados en tablas y graficas de barras utilizando MS Excel 2016.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Debido a la problemática existente en el Caserío La Represa que es la falta de suministro de agua potable y con la finalidad de utilizar energías no convencionales como es la energía solar fotovoltaica, es que se propone la implementación de un sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica para con ello mejorar la calidad de vida de la población.



Figura N° 20: Instalación de paneles solares para el sistema de agua potable en el Caserío La Represa⁵¹

⁵¹ Elaboración propia.

4.1.1. Equipamiento de la propuesta

Con la finalidad de lograr solucionar la problemática que existe en el caserío La Represa, se propone un sistema de agua potable utilizando energía solar fotovoltaica, el cual constará de los siguientes componentes:

a) Generador Fotovoltaico

Se debe considerar paneles fotovoltaicos de reconocida marca y de una potencia razonable y comercializable, la capacidad del generador fotovoltaico debe ser correctamente dimensionado para lograr suministrar de energía al sistema de agua potable.

b) Control de nivel

El control de nivel es un dispositivo o estructura hidráulica cuya finalidad es la de garantizar el nivel de agua en un rango de variación preestablecido, evitando el desperdicio del agua.

c) Controlador de carga

El controlador deberá ser de marca reconocida con la capacidad de corriente eléctrica de tal manera que pueda soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico y con la potencia suficiente para que no se produzcan sobrecargas.

d) Bomba sumergible

Se considerará una bomba de marca reconocida y con características técnicas lo suficientemente correctas para lograr suministrar agua al caserío La Represa.

e) Conductores eléctricos

Con la finalidad de unir los componentes eléctricos entre el generador fotovoltaico, controlador y bomba sumergible, lo suficiente como para satisfacer las mínimas caídas de tensión recomendadas.



Figura N° 21: Salidas eléctricas para sistema solar⁵²

⁵² Elaboración propia.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Evaluación de la Energía Solar Disponible

Para obtener información sobre los valores de radiación solar en el Caserío La Represa, se hizo uso de tres fuentes: El Atlas Solar del Perú, el software Meteonorm y el software Solarius PV, cuyos valores se detallan a continuación:

Atlas de Energía Solar

Para el departamento de Lambayeque se obtuvieron los valores de radiación solar máxima y mínima, teniéndose un valor máximo de 5,00 kWh/m²/día y un mínimo de 4,50 kWh/m²/día, por lo que consideraremos el valor más desfavorable, en este caso sería de 4,50 kWh/m²/día.

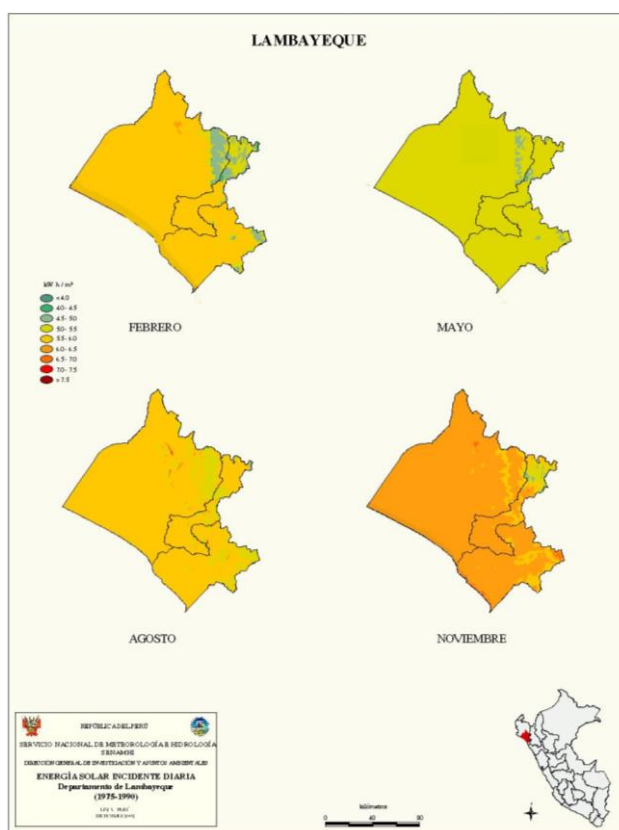


Figura N° 22: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque⁵³

Software Meteonorm

⁵³ (SENAMHI, 2003)

Con el uso de este potente software, se obtuvo la información de la radiación solar en el Caserío La Represa.

Primero, necesitamos los datos de la latitud y la longitud donde se ubica el Caserío La Represa. Estos se obtuvieron del INEI, del Sistema de Información Geográfica, Sistema de Consulta de Centros Poblados⁵⁴, los que se detallan a continuación:

Latitud: -6.38893000000

Longitud: -79.7508033340

Al ingresar estos datos al software Meteonorm, podemos obtener los valores de radiación durante un año para el Caserío La Represa.

Tabla N° 6: Radiación Solar Mensual según software METEONORM 7.3⁵⁵

CASERÍO LA REPRESA

 Radiación		 Temperatura		 Precipitación		 Duración de la insolación	
 Radiación global diaria				 Temperatura diaria		 Tabla de datos	
	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s	
Enero	185	74	157	24.3	18.6	5.1	
Febrero	172	77	133	25.7	19.5	4.4	
Marzo	198	74	173	25.7	19.6	4.2	
Abril	184	65	172	23.7	18.1	4.9	
Mayo	168	64	159	21.3	16.2	5.4	
Junio	149	57	147	19.9	15.5	4.9	
Julio	151	63	138	19.6	15.3	4.7	
Agosto	168	69	144	19.3	14.9	4.8	
Setiembre	189	66	172	19.1	14.5	5.5	
Octubre	195	79	162	19.6	14.8	5.6	
Noviembre	185	70	167	20.6	15.6	5.5	
Diciembre	192	78	162	22.4	17.1	5.4	
Año	2137	837	1886	21.8	16.6	5	

⁵⁴ (INEI, 2019)

⁵⁵ Fuente: Software Meteonorm 7.3

Y para obtener la radiación solar promedio diaria, se tendría en consideración el número de días para cada mes, tal como se muestra en la siguiente tabla N° 7.

Tabla N° 7: Radiación Solar Promedio Diaria⁵⁶

Mes	Gh (kWh/m ² /día)	Días	Gh (kWh/m ² /día)
Enero	185	31	5,97
Febrero	172	28	6,14
Marzo	198	31	6,39
Abril	184	30	6,13
Mayo	168	31	5,42
Junio	149	30	4,97
Julio	151	31	4,87
Agosto	168	31	5,42
Septiembre	189	30	6,30
Octubre	195	31	6,29
Noviembre	185	30	6,17
Diciembre	192	31	6,19

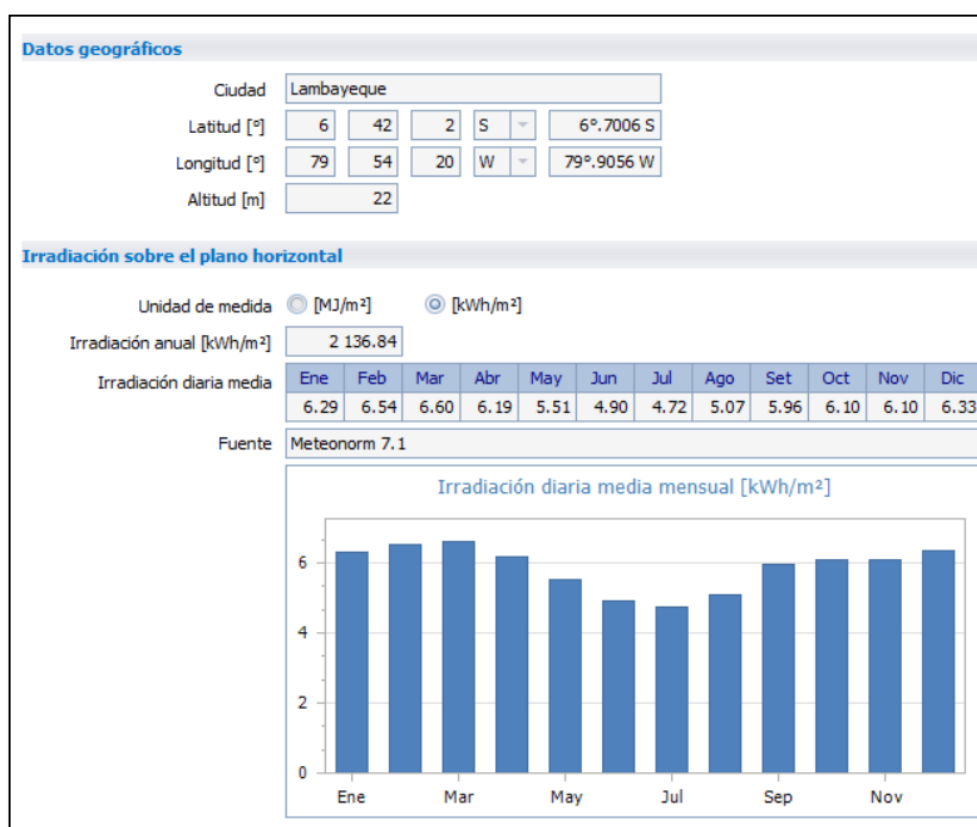
De la tabla N° 7, el mínimo valor de la radiación solar se da en el mes de Julio y es de 4,87 kWh/m²/día.

Software Solarius PV

Con este potente software se obtuvieron los resultados de radiación solar para el departamento de Lambayeque. Se detalla a continuación:

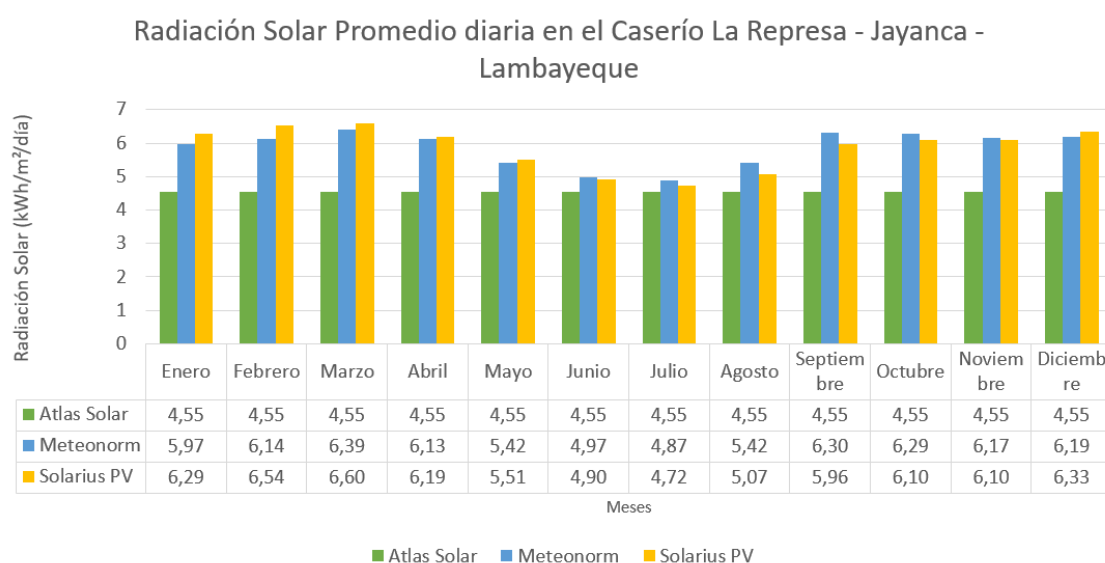
⁵⁶ Elaboración propia.

Tabla N° 8: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque⁵⁷



De la tabla N° 8, se usará el valor más bajo de radiación solar, dándose en el mes de Julio, con un valor de 4,72 kWh/m²/día.

Tabla N° 9: Comparativa de las tres fuentes de datos de Radiación Solar⁵⁸



⁵⁷ Fuente: Software SOLARIUS PV

⁵⁸ Elaboración propia.

De la tabla N° 9, se puede apreciar que el mínimo valor que toma la radiación solar es de 4,55 kWh/m²/día, el cual se usara para el dimensionamiento del sistema de agua potable usando energía fotovoltaica.

5.2. Población actual y proyección para el Caserío La Represa en Jayanca

Para poder dimensionar el sistema de energía solar para el sistema de agua potable, se tendrá en cuenta que la vida útil del sistema solar fotovoltaico es de 20 años, por lo que se hace necesario considerar para proyectar la población. Para poder proyectar el número de habitantes en los 20 años de vida útil del proyecto, se considera la tasa de crecimiento poblacional que se determina según la tabla N° 10.

Tabla N° 10: Tasa de crecimiento poblacional⁵⁹

PERU: TASAS DE CRECIMIENTO GEOMETRICO MEDIO ANUAL SEGUN DEPARTAMENTOS, 1995-2015				
DEPARTAMENTOS	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
PERU	1.7	1.6	1.5	1.3
COSTA				
Callao	2.6	2.3	2.1	1.8
Ica	1.7	1.5	1.3	1.2
La Libertad	1.8	1.7	1.5	1.3
Lambayeque	2.0	1.9	1.7	1.5
Lima	1.9	1.7	1.5	1.3
Moquegua	1.7	1.6	1.4	1.3
Piura	1.3	1.2	1.1	0.9
Tacna	3.0	2.7	2.4	2.1
Tumbes	2.8	2.6	2.3	2.0
SIERRA				
Ancash	1.0	0.9	0.8	0.7
Apurímac	0.9	1.0	1.0	1.0
Arequipa	1.8	1.7	1.5	1.3
Ayacucho	0.1	0.3	0.4	0.4
Cajamarca	1.2	1.2	1.1	0.9
Cusco	1.2	1.2	1.1	1.0
Huancavelica	0.9	1.0	0.9	0.9
Huánuco	2.0	1.8	1.7	1.6
Junín	1.2	1.2	1.0	0.9
Pasco	0.4	0.6	0.5	0.4
Puno	1.2	1.2	1.1	1.0

⁵⁹ Fuente: INEI

De la tabla N° 10, se considera las tasas de crecimiento para el Departamento de Lambayeque.

Tabla N° 11: Tasa de crecimiento para el Departamento de Lambayeque⁶⁰

Año	Tasa de crecimiento promedio anual (%)
1995 – 2000	2,00
2000 – 2005	1,90
2005 – 2010	1,70
2010 – 2015	1,50
Promedio	1,78

De la tabla N° 11, se ha tomado en cuenta el valor promedio considerando desde el año 1995 al año 2015, con un valor de 1,78%, usado para poder proyectar el número de habitantes para 20 años.

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (6)$$

Donde:

P_0 : Población actual (60 habitantes)

P_{20} : Población proyectada al cabo de 20 años

i : Tasa de crecimiento poblacional (1.78%)

n : Número de años (20 años)

Reemplazando todos estos datos en la ecuación (6), se podrá calcular el número de habitantes para el año 20, el cual es de:

$$P_{20} = 60x(1 + 0.0178)^{20} \approx 86 \text{ habitantes}$$

⁶⁰ Elaboración propia.

5.3. Requerimientos del Sistema de Bombeo

5.3.1. Cálculo de la demanda de agua

Tabla N° 12: Consumo de agua por personas y animales⁶¹

Consumidor	Cantidad	Consumo diario (L/día)	Consumo total diario (L/día)
Ganado vacuno	45	57	2 565,00
Aves de corral	100	0,23	23,00
Caballos	18	50	900,00
Cabras	30	8	240,00
Habitantes	86	100	8 600,00
Total (L/día)			12 328,00

Por lo tanto, según la tabla N° 12, el consumo total diario es de 12 328,00 L/día, equivalente a $12,328 \text{ m}^3/\text{día}$. Car

5.3.2. Carga dinámica total

Para el sistema de bombeo se consideran los siguientes datos:

Tabla N° 13: Datos para el Dimensionamiento del Sistema de Agua potable⁶²

Nivel Estático del Agua	25,00 m
Abatimiento	5,00 m
Altura de descarga	8,00 m
Distancia al depósito	6,00 m
Caudal	12 328,00 L/día

Continuando el procedimiento de la guía de desarrollo de bombeo de agua con energía fotovoltaica⁶³, se obtiene lo siguiente:

⁶¹ Elaboración propia.

⁶² Elaboración propia.

⁶³ (Paredes Rubio, 2001)

Calculando la carga estática (CE), con la ecuación:

$$CE = \text{Nivel estático} + \text{abatimiento} + \text{Altura de descarga}$$

$$CE = 25,00 \text{ m} + 5,00 \text{ m} + 8,00 \text{ m}$$

$$CE = 38,00 \text{ m}$$

La carga dinámica (CD), se calculará por omisión⁶⁴ añadiendo el 10% de la longitud total de la tubería, entonces tenemos:

$$CD = 0,10 \times L = 0,10 \times (CE + \text{Distancia al depósito})$$

$$CD = 0,10 \times (38,00 \text{ m} + 6,00 \text{ m})$$

$$CD = 4,40 \text{ m}$$

Por lo tanto, con la ecuación (1):

$$CDT = CE + CD = 38,00 \text{ m} + 4,40 \text{ m}$$

$$CDT = 42,40 \text{ m} \approx 43,00 \text{ m}$$

5.3.3. Cálculo del Caudal requerido

El caudal es conocido, el cual es de 12 328 L/día, lo convertimos en m³/h, teniendo que considerar las horas en que trabajará la bomba, es decir; 2,00 horas, por lo tanto, el caudal es:

$$Q_{promedio} = \frac{12,328}{2,00} \text{ m}^3/\text{h} \approx 6,164 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.3.4. Cálculo de la potencia de la bomba sumergible

Con esto, se determinará el consumo energético que necesitará el sistema de energía fotovoltaica. Se debe considerar el autoconsumo que realizan los aparatos electrónicos como lo son el regulador de carga en el caso de

⁶⁴ Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» México, 2001.

usar baterías. Por lo general, el autoconsumo que realiza este equipo suele ser del valor del 1% del total de la energía consumida.

$$E_{requerida} = \frac{Volumen \cdot H}{367 \cdot \eta_{bomba}} \quad \dots (7)$$

Donde:

Volumen: 12 328 L

H: Altura de impulsión (43,00 m)

η_{bomba} : Rendimiento de la bomba (0,50)

Reemplazando estos datos en la ecuación (7), se obtiene un consumo energético de:

$$E_{requerida} = \frac{(12\,328)(43)}{367(0,50)} = 2,89 \text{ kWh/día}$$

5.3.4.1. Dimensionamiento de la bomba sumergible

Para seleccionar la bomba adecuada, se debe considerar:

$$P_{bomba} = \frac{\gamma \cdot Q_{promedio} \cdot H_B}{\eta_{bomba}} \quad \dots (8)$$

Reemplazando en la ecuación anterior, obtenemos:

$$P_{bomba} = \frac{(9810)(6,164/3600)(43)}{0,50} = 1\,444,53 \text{ W}$$

$$P_{bomba} = 1,936 \text{ HP} \approx 2 \text{ HP}$$

Para seleccionar correctamente la bomba sumergible, con la finalidad que cumpla con los requerimientos del sistema y además que sea de una marca reconocida.

Selección de la bomba sumergible

De acuerdo al análisis, se seleccionará la bomba sumergible PEDROLLO 4SR33G/20 (ANEXO 01), la cual cumple con las exigencias del sistema, respecto a la altura y caudal que se dimensiono en la sección anterior.



Figura N° 23: Bomba sumergible PEDROLLO 4SR33G/20⁶⁵

⁶⁵ https://autosolar.pe/pdf/PEDROLLO_4SR.pdf

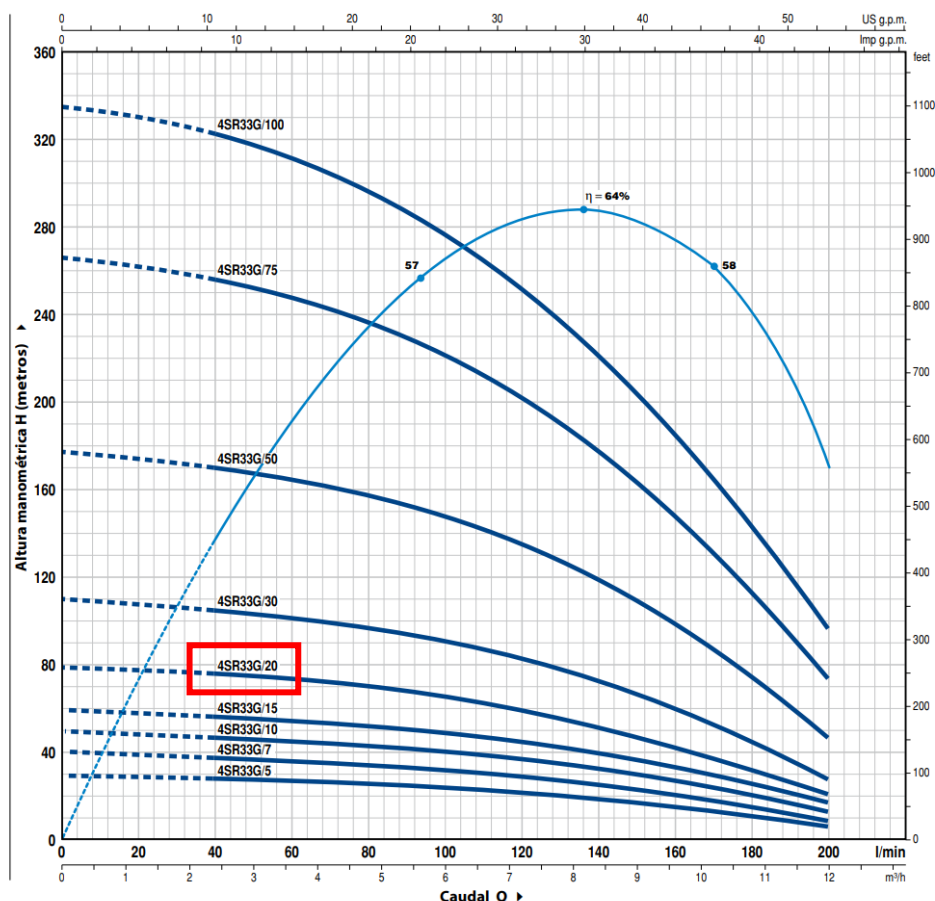


Figura N° 24: Curva y datos característicos de la bomba seleccionada⁶⁶

5.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

5.3.5.1. Cálculo de los paneles solares fotovoltaicos

Para determinar la potencia del generador fotovoltaico, se consideran las pérdidas ocasionadas en el controlador, por efecto Joule en los conductores, calentamiento, etc. Por lo tanto, para facilitar el cálculo de la potencia del generador, estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que recoge el rendimiento energético global de la instalación; para el caso de sistemas con regulador se considera⁶⁷: 0,74.

⁶⁶ https://autosolar.pe/pdf/PEDROLLO_4SR.pdf

⁶⁷ (Agustin Castejon, s.f.)

$$E_{electrica} = \frac{E_{requerida}}{\eta_{sistema}} \dots (9)$$

$$E_{electrica} = \frac{2,89 \text{ kWh/día}}{0,74} = 3,905 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto, la potencia requerida para el sistema será:

$$Pot = \frac{E_{electrica}}{HSP} = \frac{3,905}{2,00} = 1,953 \text{ kW}$$

Para el proyecto se selecciona trabajar con paneles de marca reconocida como son los paneles fotovoltaicos AE SOLAR POWER PLUS MODULE (ANEXO 02), y para poder seleccionar el adecuado, se tiene que considerar el precio, la potencia y los datos técnicos de la bomba.

	BPD0K7TN(AC)	BPD1K5TN(AC)	BPD2K2TN(AC)
Entrada DC			
Tensión máxima de entrada DC (V)	450	450	
Tensión de arranque(V)	80	100	
Mínima tensión de funcionamiento(V)	60	80	
Tensión MPPT recomendada(V)	80~400	100~400	
Modelo clavija de entrada		1:MC4	
Máxima intensidad de entrada DC (A)	9	12	12
Bypass de entrada AC (modelo que admite la entrada a red)			
Tensión de entrada(Vac)	220/230/240(1PH)(-15%~+10%)		
Frecuencia de entrada(Hz)	47~63		
Terminales de entrada AC	1P2L		
Salida AC			
Rango de potencia(W)	750	1500	2200
Rango de intensidad(A)	5.1(1fase)	10.2(1fase)	14(1fase)
	4.2(3fases)	7.5(3fases)	10(3fases)
Tensión de salida (Vac)	0~Input voltage		
Cableado de salida	1P2L/2P3L/3P3L		
Frecuencia de salida(Hz)	1~400		

Figura N° 25: Datos técnicos del inversor variador de la bomba⁶⁸

⁶⁸ Ficha técnica BPD series Variador bombeo solar

De los datos técnicos del inversor variador (ANEXO 03), se tiene que la tensión mínima V_{mp} es de 80 V y como máximo 400 V.

En primer lugar, se determinará el número de paneles solares en serie, usando la ecuación:

$$N_{s\ mf} = \frac{V_T}{V_{mp, modulo\ f}} \dots (10)$$

$$N_{s\ mf} = \frac{48\ V}{24\ V} = 2$$

Entonces, el número mínimo de paneles solares conectados en serie es de 2.

Seguidamente, calcularemos los módulos en paralelo con la siguiente ecuación:

$$N_{p\ mf} = \frac{1\ 953}{250 \times 2} = 3,906 \approx 4$$

En resumen, el generador fotovoltaico será conformado por 8 paneles solares AE SOLAR P6-60 Series DE 250 Wp.

5.3.5.2. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Los tramos de recorrido para el sistema en corriente continua, estarán formados por dos conductores activos (positivo y negativo) más el cable de protección.

Para poder calcular la sección (S) de conductores en corriente continua, emplearemos la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{K \times \Delta V} \dots (11)$$

Donde:

S : Sección del conductor en cc (mm^2)

L : Longitud del tramo de conductor (m)

I : Intensidad de corriente que circula por el conductor (A)

ΔV : Caída de tensión máxima permitida en el tramo (V)

K : Conductividad del conductor (56 Cu; 35 Al)

Tabla N° 14: Caída de tensión permisibles⁶⁹

Tramo	$\Delta V_{m\acute{a}xima}$	$\Delta V_{recomendada}$
Paneles – Regulador	3 %	1 %
Regulador – Bomba	5 %	3%

En la tabla N° 14, se muestran los valores permitidos según el tramo para la caída de tensión máximas y recomendadas para un sistema de agua potable utilizando energía fotovoltaica.

Aplicaremos el criterio de caída de tensión y capacidad de corriente para poder seleccionar el calibre del conductor eléctrico adecuado.

Se propone el uso de conductores NH-80 (ANEXO 04) ya que no estarán expuestos al Sol, sino que están instalados por debajo de los paneles solares fotovoltaicos.

Tramo 1: Paneles – Regulador

Viene desde la caja de conexión de los módulos solares hasta el regulador de carga.

Los datos con respecto a este tramo son los siguientes:

$$L = 2m$$

$$I_{tramo\ 1} = 1,25 \times I_{CC\ mf} \times N_{rmp} \dots (12)$$

$$I_{tramo\ 1} = 1,25 \times 8,57 \times 4 = 42,85\ A$$

⁶⁹ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Se selecciona por capacidad de corriente el cable NH-80 de 10 mm^2 .

Ahora, calcularemos el calibre de acuerdo a la caída de tensión con la ecuación (11):

$$S_{tramo\ 1} = \frac{2 \times L \times I}{K \times \Delta V}$$
$$S_{tramo\ 1} = \frac{2 \times 2 \times 42,85}{56 \times 0.03 \times 48} = 2,13 \text{ mm}^2$$

Por capacidad de corriente, se necesita cable NH-80 de 10 mm^2 y por caída de tensión, un calibre de $2,13 \text{ mm}^2$. Por lo que, de acuerdo al procedimiento, se debe seleccionar el calibre mayor de estos dos valores obtenidos.

Por lo tanto, se selecciona cable NH-80 de 10 mm^2 para el tramo 1.

Tramo 2: Regulador – Motor de Bomba Sumergible

Para el tramo 2, de la tabla N° 14 se toma el valor de caída de tensión, para calcular la sección mínima del cable a necesitar. Primero, calculamos la capacidad de corriente máxima, con la ecuación:

$$I_{MAX\ bomba} = \frac{1,25 \times P_{bomba}}{V} \dots (13)$$

Donde:

$I_{MAX\ bomba}$: Corriente necesaria para accionar el motor de la bomba sumergible (A).

P_{bomba} : Potencia de la bomba sumergible = 2 HP.

V : Voltaje en los terminales de la bomba sumergible = 220 V.

Reemplazando estos datos en la ecuación (13):

$$I_{MAX\ bomba} = \frac{1,25 \times 2 \times 746 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 8,48 \text{ A}$$

Con este valor, usando la ecuación (11), determinaremos el mínimo calibre del cable conductor del tramo 2.

$$S_{tramo\ 2} = \frac{2 \times 25 \times 8,48}{56 \times 0,05 \times 220} = 0,69\ mm^2$$

De acuerdo a las normas vigentes y al Código Nacional de Electricidad 2006 – Utilización, el cable a utilizar, será el NMT (ANEXO 05) de $2 \times 4\ mm^2$.

Tabla N° 15: Resumen de la sección de conductor a utilizar⁷⁰

Tramo	Sección de cable (mm ²)
Tramo 1: Paneles solares – Regulador	10 (NH-80)
Tramo 2: Regulador – Motor Bomba Sumergible	4 (NMT 2x4mm ²)

Cable de protección de puesta a tierra

Para proteger y la seguridad de la instalación, se tiene que instalar un cable adicional, además de los cables activos (positivo y negativo), el cual será el cable de protección, que servirá para conectar todas las masas metálicas de la instalación con el sistema de puesta a tierra, con el objetivo de evitar las diferencias de potencial peligrosas, perturbaciones del sistema y al mismo tiempo que permite descargar a tierra las corrientes defectuosas o las de origen atmosférico. Será del mismo material que los cables activos, es decir, de cobre (Cu) e irán alojados con los cables activos por el mismo recorrido del conducto para su protección.

La sección que se debe elegir, está en función de la sección de los conductores activos, dados por la siguiente tabla.

⁷⁰ Elaboración propia.

Tabla N° 16: Sección mínima de los conductores de protección⁷¹

Sección de los conductores activos de la instalación, $S \text{ (mm}^2\text{)}$	Sección mínima de los conductores de protección, $S_p \text{ (mm}^2\text{)}$
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

De acuerdo a la tabla N° 16 determinaremos la sección del calibre del cable de protección. Se resume en la siguiente tabla.

Tabla N° 17: Selección del conductor de protección⁷²

Tramo	Sección del conductor activo (mm ²)	Sección del conductor de protección (mm ²)
Tramo 1: Paneles solares – Regulador	10	10
Tramo 2: Regulador – Motor Bomba Sumergible	4	4

5.3.5.3. Elementos de protección

Los componentes del sistema fotovoltaico y de cualquier sistema eléctrico en general pueden generar o transmitir sobrecorriente que pueden reducir la vida del componente o este podría fallar.

Protección del generador fotovoltaico: De los cálculos realizados se tienen 2 grupos de dos módulos conectados en serie por lo que es necesario una protección contra corrientes inversas en cada rama, como la caja de conexiones del generador fotovoltaico tiene fácil acceso para mantenimiento, se opta por fusibles en bases portafusibles seccionables:

⁷¹ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

⁷² Elaboración propia.

Se utilizarán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo gPV 1000V DC de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca DF Electric (ANEXO 06) Entonces, que para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm}$$

Donde:

I_b : Intensidad de corriente que recorre la línea.

I_n : Intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

I_{adm} : Corriente máxima admisible del cable conductor de la línea.

Tabla N° 18: Selección de los fusibles⁷³

Paneles fotovoltaicos – Regulador	$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm}$ $42,85 \leq I_n \leq 0,9 (51)$ $42,85 \leq I_n \leq 45,9$ $I_n = 45 A$
Regulador – Bomba Sumergible	$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm}$ $8,48 \leq I_n \leq 0,9 (25)$ $8,48 \leq I_n \leq 22,50$ $I_n = 10 A$

5.3.5.4. Ángulo óptimo de inclinación

Para determinar el ángulo óptimo de inclinación de una superficie fija, se usará la fórmula basada en el análisis estadístico de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

⁷³ Elaboración propia.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|)$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,389|)$$

$$\beta_{opt} = 8,108^\circ$$

Pero, con la finalidad de evitar la acumulación de polvo y humedad, se considera un ángulo óptimo de 15°.

5.3.6. Dimensionamiento para el sistema de distribución

5.3.6.1. Cálculo de la Máxima Demanda

Se determinará a partir de la iluminación y tomacorrientes instalados para el proyecto. Se detalla en la siguiente tabla.

Tabla N° 19: Cuadro de cargas para TD⁷⁴

N°	Descripción	P.I. (kW)	F.D.	M.D. (kW)
1	Alumbrado	0,50	1	0,50
2	Tomacorrientes	0,30	1	0,30
TOTAL		0,80		0,80

Para el proyecto, estos circuitos se usarán en promedio 4 horas por día, por ende, la energía requerida se determinará utilizando la ecuación:

$$E_{fotovoltaica} = 0,80 \text{ kW} \times 2 \frac{h}{\text{día}} = 1,60 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto, se necesitará de una energía de 1,60 kWh/día; dato importante para dimensionar el generador fotovoltaico para el sistema de distribución.

⁷⁴ Elaboración propia.

5.3.6.2. Dimensionamiento de los paneles solares para el sistema fotovoltaico de distribución

El tablero de distribución necesita 1,60 kWh/día de energía para poder funcionar con normalidad, con este dato, determinaremos cuantos paneles fotovoltaicos son necesarios.

Se usarán paneles de 200 Wp de la marca ERA SOLAR (ANEXO 07).

$$E_{fotovoltaica} = N_{paneles} \times P_{panel} \times HSP$$

$$1,60 \frac{kWh}{día} = N_{paneles} \times 200 Wp \times 4,52 \frac{\frac{m^2}{día}}{día}$$

$$N_{paneles} = 1,77 \text{ paneles} \approx 2 \text{ paneles}$$

Entonces, se necesitarán 2 paneles solares ERA SOLAR de 200 Wp.

Los 2 estarán conectados en paralelo para tener una tensión de trabajo de 12 V.

La energía diaria que entregarán los paneles se detalla en la tabla siguiente:

Tabla N° 20: Energía producida por el generador fotovoltaico del TD⁷⁵

Radiación Solar	Número de paneles solares ERA SOLAR de 200 Wp	Potencia del generador fotovoltaico	Energía diaria entregada por el aerogenerador
4,52 kWh/m ² /día	2	0,40 kWp	1,808 kWh/día

En conclusión, se necesitarán 2 paneles fotovoltaicos de 200 Wp.

5.3.6.3. Dimensionamiento del controlador para el sistema fotovoltaico de distribución

Se tendrá en cuenta la ecuación siguiente y la corriente del cortocircuito del panel fotovoltaico, de donde obtenemos:

$$I_{\text{mínima del regulador}} = 1,25 \times I_{\text{cortocircuito del panel}} \times N_{Pmf}$$

⁷⁵ Elaboración propia.

$$I_{\text{mínima del regulador}} = 1,25 \times 11 \times 1 = 13,75 \text{ A}$$

De acuerdo a la corriente que soportará el regulador, se propone el uso del controlador de la marca SOLAR SYSTEM (ANEXO 08) con una capacidad de 20 A, obteniendo por lo tanto;

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{I_{\text{mínima del regulador}}}{I_{\text{regulador seleccionado}}}$$

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{13,75 \text{ A}}{20 \text{ A}} = 0,6875 \approx 1$$

Se utilizará 01 controlador SOLAR SYSTEM PC1500B-10-20.

5.3.6.4. Dimensionamiento de la batería

Para el dimensionamiento del banco de baterías se utiliza la ecuación;

$$C_T = (N_D \times E_{\text{elec}}) / (P_{D \text{ máx}} \times V_T)$$

Donde:

C_T : Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah

N_D : Número de días de autonomía = 2 días

E_{elect} : Energía eléctrica total media diaria (1 600 Wh/día)

$P_{D \text{ máx}}$: Profundidad máxima de descarga = 0,7

V_T : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico = 48 V

Reemplazando los datos en la ecuación anterior;

$$C_T = (2 \times 1\,600) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 95,24 \text{ Ah}$$

En el mercado encontramos baterías de 100 Ah.

Por lo tanto, se seleccionará la batería de la marca YINGDE AOKLY POWER con una capacidad de 100 Ah (ANEXO 09).

5.3.6.5. Inversor del sistema fotovoltaico de distribución

Ahora, se calculará con la potencia instalada, con la suposición de que la Máxima Demanda es igual a la Potencia Instalada, esta es de 0,80 kW. Entonces, con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{entrada al inversor}} = \frac{P_{\text{carga}}}{\eta_{\text{inversor}}}$$
$$P_{\text{entrada al inversor}} = \frac{0,80 \text{ kW}}{0,8} = 1 \text{ kW}$$

El número de inversores es entonces:

$$N_{\text{inversores}} = \frac{P_{\text{entrada al inversor}}}{P_{\text{inversor}}}$$
$$N_{\text{inversores}} = \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kW}} = 1$$

Por lo que se trabajará con un inversor de la marca MUST SOLAR 1 kW (ANEXO 10).

5.3.6.6. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Utilizamos las ecuaciones a continuación, para poder seleccionar los conductores eléctricos tal como se muestra de la siguiente manera:

- Para el tramo generador fotovoltaico – controlador, la corriente se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_{MAX \text{ mf}} = 1,25 \times I_{\text{cortocircuito del panel}} \times N_{\text{paralelo}} \times \text{regulador}$$

$$I_{MAX \text{ mf}} = 1,25 \times 11,86 \times 1 = 14,83 \text{ A}$$

Calculamos la sección mínima del conductor a utilizar, considerando $\Delta V \leq 3\%$

$$S_{\text{cable}} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$
$$S_{\text{cable}} = \frac{2 \times 3 \times 14,83}{56 \times 0,03 \times 12}$$

$$S_{cable} = 4,41 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 21, escogemos el conductor NH-80 de 6 mm^2 .

Tabla N° 21: Características eléctricas del conductor unipolar NH-80⁷⁶

TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

- Para el tramo del conductor del regulador – inversor, $\Delta V \leq 1\%$

$$I_{MAX inv} = \frac{1,25 \times P_{carga}}{V_{MIN Tacu} \times \eta_{inv}}$$

Donde:

$I_{MAX inv}$: Corriente máxima en la línea regulador – inversor (A).

P_{carga} : Potencia de la carga en servicio continuo (W).

$V_{MIN Tacu}$: El menor valor de tensión de las baterías con el que puede funcionar el inversor (V).

η_{inv} : Rendimiento del inversor a plena potencia (0,8).

⁷⁶ INDECO Empresa NEXANS.

Reemplazando los datos:

$$I_{MAX\ inv} = \frac{1,25 \times 800\ W}{12\ V \times 0,80}$$

$$I_{MAX\ inv} = 104,17\ A$$

La sección mínima del conductor es:

$$S_{cable} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{cable} = \frac{2 \times 2 \times 104,17}{56 \times 0,01 \times 12} = 62,01\ mm^2$$

Entonces, seleccionamos el conductor NH-80 de 70 mm².

- Para el tramo batería – regulador, el conductor será de:

$$S_{cable} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{cable} = \frac{2 \times 2 \times 104,17}{56 \times 0,01 \times 12} = 62,01\ mm^2$$

Por lo tanto, se seleccionará el conductor NH-80 de 70 mm².

5.3.7. Presupuesto referencial del Sistema Fotovoltaico para sistema de agua potable

5.3.7.1. Costo del sistema de agua potable

Para poder llevar a cabo este proyecto, haciendo uso de la energía solar fotovoltaica para bombear agua potable al Caserío La Represa, los gastos fueron financiados por la Municipalidad de Jayanca.

A continuación, se detalla todo el presupuesto del proyecto.

Tabla N° 22: Inversión del proyecto⁷⁷

01	ESTRUCTURAS				22 770,39
01.01	OBRAS PROVISIONALES				4 170,70
01.01.01	ALMACEN, OFICINA Y CASETA DE GUARDIANIA	GLB	1,00	517,20	517,20
01.01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZAC. DE MAQUINARIAS-HERRAMIENTAS	GLB	1,00	3 000,00	3 000,00
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	GLB	1,00	653,50	653,50
01.02	CASETA DE BOMBEO				16 940,01
01.02.01	OBRAS PRELIMINARES				105,25
01.02.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO	m2	19,60	1,77	34,69
01.02.01.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	19,60	3,60	70,56
01.02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				924,26
01.02.02.01	EXCAVACION DE ESTRUCTURAS	m3	10,89	35,64	388,12
01.02.02.02	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	2,00	17,74	35,48
01.02.02.03	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	28,39	6,06	172,04
01.02.02.04	EXCAVACION PARA VEREDAS Y UÑAS	m3	0,32	35,14	11,24
01.02.02.05	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE	m3	12,97	24,47	317,38
01.02.03	CONCRETO SIMPLE				5 100,84
01.02.03.01	SOLADO PARA ZAPATAS DE 2" MEZCLA 1:12 CEMENTO-HORMIGON	m2	1,53	29,89	45,73
01.02.03.02	CONCRETO 1:10 +30% P.G. PARA CIMENTOS CORRIDOS	m3	2,55	394,87	1 006,92
01.02.03.03	ENCOFRADO PARA CIMENTACIONES	m2	17,00	70,42	1 197,14
01.02.03.04	CONCRETO 1:8+25% P.M. PARA SOBRECIMENTOS	m3	1,15	269,22	309,60
01.02.03.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA SOBRECIMENTOS	m2	15,30	59,51	910,50
01.02.03.06	FALSO PISO DE 4" DE CONCRETO 1:10	m2	25,00	53,89	1 347,25
01.02.03.07	VEREDA DE CONCRETO F'C= 175 KG/CM2 e=4" FROT. Y BRUÑADO	m2	3,15	66,50	209,48
01.02.03.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VEREDAS	m2	1,59	46,68	74,22
01.02.04	CONCRETO ARMADO				10 809,66
01.02.04.01	ZAPATAS				850,78
01.02.04.01.01	CONCRETO EN ZAPATAS F'C= 210 KG/CM2	m3	1,62	412,73	668,62
01.02.04.01.02	ACERO EN ZAPATAS FY=4200 KG/CM2	kg	31,68	5,75	182,16
01.02.04.02	VIGAS DE CIMENTACION				3 007,01
01.02.04.02.01	CONCRETO EN VIGAS DE CIMENTACION F'C= 210 Kg/cm2	m3	2,04	416,36	849,37
01.02.04.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION RECTA	m2	13,60	76,37	1 038,63
01.02.04.02.03	ACERO: VIGAS DE CIMENTACION FY=4200 KG/CM2	kg	194,61	5,75	1 119,01
01.02.04.03	COLUMNAS				3 469,55
01.02.04.03.01	CONCRETO EN COLUMNAS F'C=210 KG/CM2- 1° PISOS	m3	1,40	521,07	729,50
01.02.04.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO COLUMNAS	m2	23,40	51,91	1 214,69
01.02.04.03.03	ACERO EN COLUMNAS FY=4200 KG/CM2	kg	265,28	5,75	1 525,36
01.02.04.04	VIGAS				1 962,10
01.02.04.04.01	CONCRETO EN VIGAS F'C=210 KG/CM2	m3	1,02	475,94	485,46
01.02.04.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO VIGAS	m2	8,00	43,82	350,56
01.02.04.04.03	ACERO EN VIGAS FY=4200 KG/CM2	kg	195,84	5,75	1 126,08
01.02.04.05	LOSAS ALIGERADAS				1 520,22
01.02.04.05.01	CONCRETO EN LOSA ALIGERADA f'c=210Kg/cm2 -	m3	0,85	416,36	353,91
01.02.04.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSA ALIGERADA	m2	12,76	42,95	548,04
01.02.04.05.03	ACERO EN LOSA ALIGERADA FY=4200 KG/CM2	kg	58,38	5,75	335,69
01.02.04.05.04	LADRILLO HUECO DE ARCILLA 15X30X30 CM PARA LOSA ALIGERADA	und	142,00	1,99	282,58
01.03	RESERVORIO				1 659,68
01.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				257,29
01.03.01.01	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	21,90	6,06	132,71
01.03.01.02	EXCAVACION PARA VEREDAS Y UÑAS	m3	1,86	35,14	65,36
01.03.01.03	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE	m3	2,42	24,47	59,22
01.03.02	CONCRETO SIMPLE				1 402,39
01.03.02.01	FALSO PISO DE 4" DE CONCRETO 1:10	m2	5,95	53,89	320,65

⁷⁷ Elaboración propia.

01.03.02.02	VEREDA DE CONCRETO F'C= 175 KG/CM2 e=4" FROT. Y BRUÑADO	m2	12,42	66,50	825,93
01.03.02.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VEREDAS	m2	5,48	46,68	255,81
02	ARQUITECTURA				16 484,89
02.01	CASETA DE BOMBEO				11 912,91
02.01.01	MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑERIA				2 232,40
02.01.01.01	MURO DE SOGA LADRILLO KING-KONG CON CEMENTO-CAL-ARENA	m2	34,44	64,82	2 232,40
02.01.02	REVESTIMIENTOS				3 097,96
02.01.02.01	TARRAJEO EN MUROS: INTERIOR Y EXTERIOR	m2	68,88	33,40	2 300,59
02.01.02.02	TARRAJEO DE COLUMNAS	m2	12,64	39,71	501,93
02.01.02.03	TARRAJEO DE VIGAS	m2	7,44	39,71	295,44
02.01.03	CIELORRASOS				838,08
02.01.03.01	CIELORRASOS CON MEZCLA DE CEMENTO-ARENA	m2	12,76	65,68	838,08
02.01.04	PISOS Y PAVIMENTOS				478,37
02.01.04.01	PISO DE CEMENTO PULIDO Y BRUÑADO 2" S/COLOREAR	m2	12,76	37,49	478,37
02.01.05	ZOCALOS				347,48
02.01.05.01	CONTRAZOCALO CEMENTO S/COLOREAR H = 20 CM	m	29,20	11,90	347,48
02.01.06	PINTURA				2 605,75
02.01.06.01	PINTURA LATEX 2 MANOS EN MUROS Y COLUMNAS	m2	81,52	25,47	2 076,31
02.01.06.02	PINTURA LATEX EN CIELO RASO Y VIGAS 2 MANOS	m2	20,20	26,21	529,44
02.01.07	CARPINTERIA METALICA				2 312,87
02.01.07.01	PUERTA METAL LAC 1/16" Y VENTANA PLEGADA C/MARCO 2"x2"x1/4"	m2	1,89	844,08	1 595,31
02.01.07.02	VENTANA DE FIERRO C/PERFIL DE 1"x1/8"+HOJA BAST."L"3/4"	m2	3,92	183,05	717,56
02.02	RESERVORIO				4 571,98
02.02.01	REVESTIMIENTOS				2 066,11
02.02.01.01	TARRAJEO DE COLUMNAS	m2	30,46	39,71	1 209,57
02.02.01.02	TARRAJEO DE VIGAS	m2	21,57	39,71	856,54
02.02.02	PISOS Y PAVIMENTOS				355,78
02.02.02.01	PISO DE CEMENTO PULIDO Y BRUÑADO 2" S/COLOREAR	m2	9,49	37,49	355,78
02.02.03	PINTURA				1 341,17
02.02.03.01	PINTURA LATEX 2 MANOS EN MUROS Y COLUMNAS	m2	30,46	25,47	775,82
02.02.03.02	PINTURA LATEX EN CIELO RASO Y VIGAS 2 MANOS	m2	21,57	26,21	565,35
02.02.04	CARPINTERIA METALICA				808,92
02.02.04.01	ESCALERA GATO F°G° 1" Y 3/4"	m	7,20	112,35	808,92
03	INSTALACIONES SANITARIAS				6 102,49
03.01	LINEA DE IMPULSION				1 473,83
03.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				267,00
03.01.01.01	EXCAVACION ZANJAS PARA REDES AGUA POTABLE	m	4,50	9,37	42,17
03.01.01.02	REFINE Y NIVELACION ZANJA TERR.NORMAL	m	4,50	1,96	8,82
03.01.01.03	CAMA DE APOYO PARA TUBERIA	m	4,50	13,29	59,81
03.01.01.04	RELLENO COMP.ZANJA TERR.NORMAL	m	4,50	34,71	156,20
03.01.02	TUBERIAS Y ACCESORIOS				1 206,83
03.01.02.01	TUBERIA F° GALVAN. 2" (50MM) I/ELEM.UNION+1% DESP	m	22,50	48,97	1 101,83
03.01.02.02	CODO DE FIERRO FUNDIDO BRIDADO 2" (50MM.)	und	5,00	21,00	105,00
03.02	LINEA DE ADUCCION				2 292,94
03.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1 153,97
03.02.01.01	EXCAVACION ZANJAS PARA REDES AGUA POTABLE	m	19,45	9,37	182,25
03.02.01.02	REFINE Y NIVELACION ZANJA TERR.NORMAL	m	19,45	1,96	38,12
03.02.01.03	CAMA DE APOYO PARA TUBERIA	m	19,45	13,29	258,49
03.02.01.04	RELLENO COMP.ZANJA TERR.NORMAL	m	19,45	34,71	675,11
03.02.02	TUBERIAS Y ACCESORIOS				1 138,97
03.02.02.01	TUBERIA DE PVC SAL 3"	m	30,50	32,98	1 005,89
03.02.02.02	CODO PVC-SAP 3" * 90	und	4,00	33,27	133,08
03.03	LINEA DE LIMPIEZA				2 335,72
03.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1 245,93

03.03.01.01	EXCAVACION ZANJAS PARA REDES EXT. SANIT. ELECT.	m	21,00	9,37	196,77
03.03.01.02	REFINE Y NIVELACION ZANJA TERR.NORMAL	m	21,00	1,96	41,16
03.03.01.03	CAMA DE APOYO PARA TUBERIA	m	21,00	13,29	279,09
03.03.01.04	RELLENO COMP.ZANJA TERR.NORMAL	m	21,00	34,71	728,91
03.03.02	TUBERIAS Y ACCESORIOS				1 089,79
03.03.02.01	TUBERIA DE PVC SAL 3"	m	28,00	32,98	923,44
03.03.02.02	CODO PVC-SAP 3" * 90	und	5,00	33,27	166,35
04	CASETA DE BOMBEO				66 314,28
04.01	INSTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES				6 622,73
04.01.01	SALIDAS PARA ALUMBRADO				145,98
04.01.01.01	SALIDA DE ALUMBRADO EN TECHO	pto	2,00	72,99	145,98
04.01.02	SALIDAS PARA INTERRUPTORES				57,09
04.01.02.01	SALIDA PARA INTERRUPTOR SIMPLE	pto	1,00	57,09	57,09
04.01.03	SALIDAS PARA TOMACORRIENTES				477,04
04.01.03.01	SALIDA PARA TOMACORRIENTE DOBLE UNIVERSAL CON LINEA DE TIERRA	pto	4,00	119,26	477,04
04.01.04	SALIDAS ESPECIALES				726,15
04.01.04.01	SALIDA PARA TABLERO DE CONTROL DE INVERSOR VARIADOR "TCIV"	pto	1,00	99,02	99,02
04.01.04.02	SALIDA PARA TABLERO DE DISTRIBUCION "TD"	pto	1,00	82,96	82,96
04.01.04.03	SALIDA DE FUERZA-ELECTROBOMBA PRINCIPAL	pto	1,00	327,93	327,93
04.01.04.04	SALIDA PARA MEDIDOR ELECTROMAGNETICO	pto	1,00	72,76	72,76
04.01.04.05	SALIDA PARA AUTOMATIZACION	pto	2,00	71,74	143,48
04.01.05	CAJAS DE PASE				177,24
04.01.05.01	CAJA DE PASE F°G° 150x150x75mm	und	2,00	50,64	101,28
04.01.05.02	CAJA DE PASE F°G° 100X100X50mm	und	2,00	37,98	75,96
04.01.06	TABLEROS Y CUCHILLAS				559,94
04.01.06.01	TAB. DISTRIBUCION MONOF. 1-2x32A, 1-2x16A, 1-2x16A, 1-2x20A, Int. Dif. 25A-30mA	und	1,00	559,94	559,94
04.01.07	ARTEFACTOS DE ALUMBRADO				166,88
04.01.07.01	SUM. E INST. PANEL LED CUADRADO, 18W, 50000 HR, IP 65	und	2,00	83,44	166,88
04.01.08	CONDUCTORES Y CABLES				365,60
04.01.08.01	ALIMENTADOR NH-80, 2-1x6mm2: DESDE TEPS HASTA TCIV	m	10,00	18,28	182,80
04.01.08.02	ALIMENTADOR NH-80 2-1x6.0mm2: DESDE TEPS HASTA TD	m	10,00	18,28	182,80
04.01.09	VARIOS				626,63
04.01.09.01	MURETE D/CONCRETO 175 kg/cm2 TARRAJ. SEMI-ENTERRADO S/DISEÑO	und	1,00	551,15	551,15
04.01.09.02	SEÑALIZACION (Peligro, PAT, Etc)	und	1,00	75,48	75,48
04.01.10	AUTOMATIZACION				3 320,18
04.01.10.01	EXCAVACION ZANJAS PARA REDES EXT. SANIT. ELECT.	m	10,00	9,37	93,70
04.01.10.02	RELLENO MANUAL MATERIAL PROPIO (REDES EXT. ELCT. SANIT.)	m	10,00	7,33	73,30
04.01.10.03	CABLE VULCANIZADO NLT 3-1x2.5mm2 - SENSORES DE NIVEL: POZO + TANQUE	m	50,00	14,38	719,00
04.01.10.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC-P 20MM	m	10,00	32,81	328,10
04.01.10.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE F°G° DE 3/4"	m	10,00	39,97	399,70
04.01.10.06	CAJA DE PASE F°G° 100X100X50mm	und	2,00	37,98	75,96
04.01.10.07	SUMINISTRO E INSTALACION SENSORES DE NIVEL DE AC. INOXIDABLE: POZO + TANQUE	und	6,00	139,22	835,32
04.01.10.08	ACCESORIOS DE FIJACION PARA TUBERIA DE F°G°: TANQUE	GLB	1,00	411,31	411,31
04.01.10.09	DADO DE CONCRETO DE APOYO	und	3,00	127,93	383,79
04.02	INSTALACIONES HIDRAULICAS CASETA DE POZO TUBULAR				19 312,89
04.02.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				9 822,25
04.02.01.01	VALVULA CHECK HORIZONTAL HFD BB DN 50MM	pza	1,00	400,00	400,00
04.02.01.02	VALVULA DE COMPUERTA HFD BB DN50MM	und	2,00	450,00	900,00
04.02.01.03	VALVULA DE AIRE HFD DE 2", SIMPLE EFECTO	pza	1,00	200,00	200,00

04.02.01.04	BRIDA DE ACERO PARA SOLDAR Y EMPERNAR DE 50MM	und	20,00	35,00	700,00
04.02.01.05	CODO BB HFD DN 50MMx90°	und	3,00	150,00	450,00
04.02.01.06	CODO BB HFD DN 50MMx45°	und	2,00	150,00	300,00
04.02.01.07	EMPAQUETADURA DE JEBE ENLONADO DN50MM	und	40,00	15,00	600,00
04.02.01.08	UNION DE DESMONTAJE AUTOPORTANTE HFD BB DN500MM, PN10	und	4,00	350,00	1 400,00
04.02.01.09	TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO P/EQ. DN 50MM INC. 1% DESP	m	5,00	36,05	180,25
04.02.01.10	TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO P/EQ. DN 50MM CON ROSCA INC. 1% DESP	m	20,00	46,35	927,00
04.02.01.11	UNION DE FIERRO GALVANIZADO C/. ROSCA DN 50MM	und	12,00	10,00	120,00
04.02.01.12	NIPLE FIERRO GALVANIZADO, BRIDA EMBONE PARA BOMBA DN 50MM, L=0.35m	pza	1,00	300,00	300,00
04.02.01.13	TEE BB HFD DN 50MMx50MM	pza	1,00	250,00	250,00
04.02.01.14	PLACA DE ACERO ASTM - A36, 1" PARA BASE DE SOPORTE DE COLUMNA (Inc. Acc. de Fijación)	und	1,00	350,00	350,00
04.02.01.15	TRANSICION LUFLEX/BB PN10 ISO 2531 A TUB. F°G° DN 50 MM	und	1,00	350,00	350,00
04.02.01.16	SOLDADURA SUPERCITO	kg	25,00	35,00	875,00
04.02.01.17	PERNOS C/TUERCAS Y ANILLOS DE ACERO 3/4"x5"	kg	100,00	10,00	1 000,00
04.02.01.18	PINTURA EPOXICA	gln	2,00	140,00	280,00
04.02.01.19	PINTURA ANTICORROSIVA	gln	2,00	120,00	240,00
04.02.02	MONTAJE HIDRAULICO				8 990,64
04.02.02.01	MOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (Equipo de Soldadura, Equipo de Oxicator, Trípode, Tecles, etc)	DIA	1,00	500,00	500,00
04.02.02.02	MONTAJE DE ACCESORIOS HIDRAULICOS EN ARBOL HIDRAULICO - CASETA DE POZO TUBULAR	GLB	1,00	3 000,00	3 000,00
04.02.02.03	MONTAJE DE TRANSICION - BRIDA ENCHUFE (trazo, soldar, nivelación y colocación)	und	1,00	632,21	632,21
04.02.02.04	MONTAJE DE TUBERIA DE SUCCION + UNION C/. ROSCA DN 50MM	m	20,00	92,68	1 853,60
04.02.02.05	CONSTRUCCION DE DADOS DE CONCRETO (encofrado, enfierrado, vaciado y tarrajeado)	und	3,00	316,60	949,80
04.02.02.06	CONSTRUCCION DE LOSA DE CONCRETO PARA SOPORTE DE ELECTROBOMBA (encofrado, vaciado y tarrajeado)	und	1,00	243,78	243,78
04.02.02.07	EMPALME DE TUBERIA F°G°- PVC DE LA LINEA DE IMPULSION (Inc. Excavación, Entubado, Empalme, etc)	und	1,00	1 000,00	1 000,00
04.02.02.08	PINTADO DE TUBERIA	m	25,00	12,45	311,25
04.02.02.09	DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (Equipo de Soldadura, Equipo de Oxicator, Andamios, etc)	DIA	1,00	500,00	500,00
04.02.03	TRANSPORTE DE MATERIALES				500,00
04.02.03.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	est	1,00	500,00	500,00
04.03	EQUIPAMIENTO ELECTROMECHANICO				9 618,95
04.03.01	EQUIPO DE BOMBEO				315,84
04.03.01.01	CABLE ALIMENTADOR (CABLE NMT 4-1x4mm2): TABLERO DE CONTROL CON INVERSOR VARIADOR - ELECTROBOMBA SUMERGIBLE	m	20,00	8,93	178,60
04.03.01.02	EMPALME PARA CABLES ELCTRICOS	und	4,00	34,31	137,24
04.03.02	EQUIPOS DE MEDICION				4 768,40
04.03.02.01	MANOMETRO 2" DOBLE LECTURA, INCL DOS VALVULA COMPUERTA 2"	und	1,00	250,00	250,00
04.03.02.02	MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO (Incl. Acc. P/Inst)	und	1,00	4 500,00	4 500,00
04.03.02.03	CABLE DE CONTROL (CABLE NLT 3-1x2.5mm2):TD-MEDIDOR ELECTROMAGNETICO	m	5,00	3,68	18,40
04.03.03	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO				1 000,00
04.03.03.01	PRUEBAS DE AISLAMIENTO	GLB	1,00	200,00	200,00
04.03.03.02	PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y RESISTENCIA ELECTRICA	GLB	1,00	200,00	200,00
04.03.03.03	PRUEBAS DE TENSION	GLB	1,00	200,00	200,00
04.03.03.04	PRUEBAS DEL EQUIPO DE BOMBEO Y MEDICION	GLB	1,00	400,00	400,00
04.03.04	ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS				188,00
04.03.04.01	ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS	GLB	1,00	188,00	188,00
04.03.05	MONTAJE DEL EQUIPAMIENTO ELECTROMECHANICO				2 846,71

04.03.05.01	INST. DE EQUIPO DE BOMBEO (Electrobomba, Tubería de Succión, Accesorios y Soporte de Columna)	GLB	1,00	1 923,18	1 923,18
04.03.05.02	INSTAL. DE CABLE ALIMENTADOR DE ELECTROBOMBA SUMERGIBLE	m	25,00	16,90	422,50
04.03.05.03	INSTAL. DE CABLE ALIMENTADOR DEL MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO	m	5,00	12,67	63,35
04.03.05.04	INSTAL. DE EQUIPOS DE MEDICION	GLB	1,00	327,70	327,70
04.03.05.05	INSTAL. DE ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS-POZO TUBULAR	GLB	1,00	109,98	109,98
04.03.06	TRANSPORTE DE MATERIALES				500,00
04.03.06.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	est	1,00	500,00	500,00
04.04	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO				30 759,71
04.04.01	SALIDAS ESPECIALES				525,34
04.04.01.01	SALIDA PARA PANEL SOLAR	pto	2,00	75,43	150,86
04.04.01.02	SALIDA PARA REGULADOR DE CARGA	pto	1,00	75,43	75,43
04.04.01.03	SALIDA PARA INVERSOR CARGADOR	pto	1,00	75,43	75,43
04.04.01.04	SALIDA PARA BATERIA	pto	1,00	75,43	75,43
04.04.01.05	SALIDA PARA TABLERO ELECTRICO DE PANEL SOLAR	pto	1,00	75,43	75,43
04.04.01.06	SALIDA PARA PUESTA A TIERRA	pto	1,00	72,76	72,76
04.04.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE PUESTA A TIERRA				696,40
04.04.02.01	EXCAV. DE HOYO PARA PUESTA A TIERRA EN TERRENO NORMAL	und	1,00	92,89	92,89
04.04.02.02	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA P/ RED DE M.T. (PAT-1)	und	1,00	535,06	535,06
04.04.02.03	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	und	1,00	68,45	68,45
04.04.03	CAJAS DE PASE				202,56
04.04.03.01	CAJA DE PASE F°G° 150x150x75mm	und	4,00	50,64	202,56
04.04.04	EQUIPAMIENTO SOLAR FOTOVOLTAICO				23 164,00
04.04.04.01	PANEL SOLAR DE 250 W, 24V, POLICRISTALINO	und	10,00	800,00	8 000,00
04.04.04.02	PANEL SOLAR DE 200 W, 12V, POLICRISTALINO	und	2,00	650,00	1 300,00
04.04.04.03	SOPORTE CUBIERTA METALICA PARA PANEL SOLAR	und	1,00	1 500,00	1 500,00
04.04.04.04	BATERIA GEL DE 12 V, 100 Ah (Inc. Soporte)	und	1,00	1 050,00	1 050,00
04.04.04.05	INVERSOR + CARGADOR DE DC/AC 0.8 KW, 12V, MONOFASICO 220 V (Inc. Soporte)	und	1,00	1 750,00	1 750,00
04.04.04.06	REGULADOR DE CARGA 30A LCD 12/24V	und	1,00	550,00	550,00
04.04.04.07	TABLERO DE CONTROL CON INVERSOR VARIADOR (TCIV) PARA BOMBEO SOLAR DE DC/AC 2HP, MONOFASICO 220 V	und	1,00	7 500,00	7 500,00
04.04.04.08	TABLERO ELECTRICO DE PANEL SOLAR (TEPS)	und	1,00	400,00	400,00
04.04.04.09	ACCESORIOS PARA CONEXIÓN DEL SISTEMA SOLAR	GLB	1,00	1 114,00	1 114,00
04.04.05	MONTAJE DEL EQUIPAMIENTO SOLAR FOTOVOLTAICO				5 671,41
04.04.05.01	MONTAJE DE PANELES SOLARES + SOPORTE CUBIERTA METALICA (Inc. conexiado eléctrico)	GLB	1,00	3 406,08	3 406,08
04.04.05.02	MONTAJE DE TABLERO DE CONTROL CON INVERSOR VARIADOR	GLB	1,00	549,85	549,85
04.04.05.03	MONTAJE BATERIA, INVERSOR, CONTROLADOR, TABLERO ELECTRICO (Inc. Cables y Conectores)	GLB	1,00	715,48	715,48
04.04.05.04	PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO CON PANELES SOLARES	GLB	1,00	1 000,00	1 000,00
04.04.06	TRANSPORTE DE MATERIALES				500,00
04.04.06.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	est	1,00	500,00	500,00

COSTO DIRECTO	111 672,05
GASTOS GENERALES (8%)	8 933,76
SUB TOTAL 1	120 605,81
I.G.V. (18%)	21 709,05
SUB TOTAL 2	142 314,86
SUPERVISION (8%)	11 385,19
EXPEDIENTE TECNICO	12 500,00
PRESUPUESTO TOTAL	166 200,05

El presupuesto total asciende a los S/. 166 200,05 para poder lograr realizar este proyecto.

Todos los recursos serán brindados por La Municipalidad Distrital De Jayanca:

Mano obra	S/.	33 060,48
Materiales	S/.	74 519,75
Equipo y maquinaria	S/.	4 089,16

5.4. Análisis económico

Se realizará el análisis económico para determinar el valor VAN y TIR, valores importantes para determinar si un proyecto es rentable, considerando si el VAN es mayor que 0 y la TIR sea mayor a la tasa de descuento en el Perú, es decir, mayor a 11,54%, el proyecto es totalmente viable.

Se adjunta el cuadro resumen de los ingresos, egresos, flujos de caja, flujo de caja acumulado, para luego calcular el VAN y la TIR.

Tabla N° 23: Flujo de caja⁷⁸

Año	Ahorro instalación eléctrica (S/.)	Ahorro de energía (S/.)	Ahorro O & M eléctrico (S/.)	Ventas (S/.)	O & M sistema fotovoltaico (S/.)	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0						-166200,05	-166200,05
1	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-138742,60
2	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-111285,14
3	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-83827,69
4	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-56370,23
5	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-28912,78
6	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	-1455,32
7	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	26002,13
8	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	53459,59
9	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	80917,04
10	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	108374,49
11	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	135831,95
12	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	163289,40
13	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	190746,86
14	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	218204,31
15	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	245661,77
16	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	273119,22
17	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	300576,68
18	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	328034,13
19	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	355491,58
20	4986,00	2003,99	3000,00	18817,46	-1350,00	27457,45	382949,04

⁷⁸ Elaboración propia.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

VAN (Valor Actual Neto)	S/. 66 823,79
TIR (Tasa interna de retorno)	12,556%
i (Tasa de descuento)	11,45% ⁷⁹

De acuerdo al análisis realizado, se puede concluir que el proyecto es viable, ya que el VAN es mayor que 0 y la TIR es mayor que la tasa de descuento.

⁷⁹ Fuente: BCR – Banco Central de Reserva del Perú

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) Se determinó que la demanda de agua es de 12 328 L/día, considerando tanto a los 86 habitantes y sus animales de crianza.
- b) La radiación solar promedio mensual según el Atlas Solar del SENAMHI es de 4,50 kWh/m²/día, del software SOLARIUS PV el valor mínimo fue de 4,72 kWh/m²/día y con el software METEONORM el mínimo valor es de 4,87 kWh/m²/día. Pero, de las tres fuentes mencionadas, se determinó el menor valor de todos, en este caso es de 4,50 kWh/m²/día del Atlas Solar del SENAMHI con el que se determinó el generador fotovoltaico.
- c) La bomba sumergible PEDROLLO 4SR33G de 2 HP, el regulador con inversor variador exclusivo para bombeo solar, 8 paneles solares de 250 Wp; los datos técnicos se encuentran adjuntos.
- d) El presupuesto referencial del Sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica es de S/. 166 200,05.
- e) Para el tablero de distribución se determinó 2 paneles solares de 200 Wp con sus respectivos accesorios.
- f) Se determinó el uso de una batería YINGDE AOKLY POWER 6GFM100G (12V/100Ah) con una capacidad de 100 Ah para el sistema de distribución.

g) Se concluye que, de acuerdo al análisis económico, el proyecto es viable, cumpliendo con un VAN mayor que 0 y una TIR mayor a la tasa de descuento.

6.2. Recomendaciones

- a) Se recomienda realizar anualmente un análisis de los equipos del sistema de agua potable, para garantizar su correcto funcionamiento.
- b) Para Futuras tesis que tomen como referencia esta investigación se recomienda que la data de la radiación solar diaria sea la más actualizada posible, como se realizó en este proyecto de investigación.
- c) Revisar semanalmente los paneles solares para evitar que se acumule tierra, polvo o cualquier objeto que pueda afectar a su funcionamiento.
- d) Realizar los trabajos de limpieza y verificación de los equipos solo por personal autorizado y capacitado.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ABAD MARIÑOS, P. S., & FLORES MENDO, E. A. (2016). *“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR -CHIMBOTE PERÚ”*. CHIMBOTE.
- 2) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 3) Alata Rey, J. (2015). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares- caso UNALM*. Lima.
- 4) Baldera Chapoñan, N. V. (2018). *“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA EL CASERÍO CHOCHOR EN MÓRROPE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”*. Lambayeque.
- 5) Bravo Damián, V. Y., & Gamarra Vilchez, D. J. (S.F). *“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGÍA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ”*. LAMBAYEQUE.
- 6) Cabrera Peña, I., & Fermin Montiel, R. (2003). *«Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua.»* . México.
- 7) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 8) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. México.
- 9) Hernandez Quijaite , L. E. (s.f.). *«Bombeo de agua con energia solar en el departamento de Ica»*. Ica.
- 10) INEI. (2019). *Sistema de Información Geográfica*. Obtenido de Sistema de consulta de Centros Poblados: <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>
- 11) Moran Santamaria, J. M. (2013). *«Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.»* . Lambayeque.
- 12) ORELLANA LALANGUI, A. G., & SARANGO CHAMBA, J. F. (2015). *“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, SECTOR EL PLATEADO SERVIDO POR EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR”*. CUENCA.
- 13) Paredes Rubio, A. R. (2001). *«Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica.»* . México.

- 14) Salmeron Rodrigues, D. A., & Blando Rivas, J. (2014). «*ESTUDIO DE PREINVERSION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE JINOTEPE*».». Managua.
- 15) SENAMHI. (2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*.
- 16) TRITEC INTERVENTO. (15 de Noviembre de 2019). Obtenido de <https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/eficiencia-del-panel-solar/>
- 17) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). «*Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*» . Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUMERGIBLE PEDROLLO 4SR33G/20

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS AE SOLAR DE 250 Wp

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR SHENZHEN INVT ELECTRIC BPD PARA LA BOMBA SUMERGIBLE

ANEXO N°04. CATALOGO DE CABLES NH-80 INDECO

ANEXO N°05. CATALOGO DE CABLES NMT INDECO

ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LOS FUSIBLES DF ELECTRIC

ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ERA SOLAR DE 200 Wp

ANEXO N°08. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR SOLAR SYSTEM PC1500B – 10 – 20

ANEXO N° 09. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS YINGDE AOKLY POWER FM100G

ANEXO N° 10. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR MUST SOLAR EP20 – 1000

ANEXO N° 11. FICHA TÉCNICA DEL CONTROL DE NIVEL DIGIMEC

ANEXO N° 12. PLANO DE EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO

ANEXO N° 13. PLANO DE MONTAJE DE PANELES SOLARES

ANEXO N° 14. PLANOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA