



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO
EÓLICO SOLAR PARA EL BOMBEO DE AGUA EN EL
FUNDO SAN JUAN DE CAYALTI PROVINCIA DE
CHICLAYO-LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. SEGUNDO RONALD CAJUSOL BANCES

Asesor:

Ing. HÉCTOR OLIDEN NÚÑEZ

LAMBAYEQUE – PERÚ

ABRIL del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO
EÓLICO SOLAR PARA EL BOMBEO DE AGUA EN EL
FUNDO SAN JUAN DE CAYALTI PROVINCIA DE
CHICLAYO-LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. SEGUNDO RONALD CAJUSOL BANCES

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Ing. Carlos Yupanqui Rodriguez.....

SECRETARIO: Ing. Roninson Tapia Asenjo.....

MIEMBRO: Daniel Puyen Mateo

ASESOR: Ing. Héctor Antonio Oviden Núñez.....

LAMBAYEQUE – PERÚ

ABRIL del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

TITULO

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO SOLAR
PARA EL BOMBEO DE AGUA EN EL FUNDO SAN JUAN DE
CAYALTI PROVINCIA DE CHICLAYO-LAMBAYEQUE”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bach. SEGUNDO RONALD CAJUSOL BANCES

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

ABRIL del 2019

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Back. SEGUNDO RONALD CAMUSOL BANCES

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Agradezco a nuestros docentes de la facultad, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad, en especial al Ing. Héctor Oliden Núñez quien me ha guiado en mi investigación como mi asesor.

Bach. SEGUNDO RONALD CAMUSOL BANCES

RESUMEN

La presente tesis tuvo por objetivo Dimensionar un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo San Juan en el distrito de Cayaltí provincia de Chiclayo; debido a la problemática del uso de una motobomba para el riego tanto económico como ambientales.

Luego de realizar los cálculos se obtuvo lo siguiente: La demanda de agua en el fundo San Juan para el riego es variable de acuerdo al mes tal como se muestra en la tabla N° 10 y de donde el mes de febrero es el que requiere mayor cantidad de agua con 248 ,51 m³/día, por el contrario en el mes de junio el requerimiento de agua es de 123, 77 m³/día.

Se obtuvo los datos de irradiación solar de la NASA de donde el menor valor es 4,89 kWh/m²/día.

Con respecto de la velocidad del viento se obtuvo los datos horarios para el mes junio que es el mes de menor velocidad de viento y para el mes de noviembre que es el mes con mayor velocidad. A partir de los cálculos se pudo determinar que para el mes de junio la contribución de energía eólica es de 9,20 %, mientras que para el mes de noviembre es de 38,6 % de la energía total requerida por el sistema de bombeo.

Se dimensionó el sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua seleccionando 01 aerogenerador ZONHAN de 2 kW, 14 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX, 08 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 controlador Blue Solar 150/85 y además de un inversor VICTRON ENERGY de 5 kW.

El costo total del sistema de bombeo híbrido eólico solar es de: S/. 91 201,05.

Palabras clave: energía eólica, energía solar, motobomba, aerogenerador.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to dimension a hybrid solar wind system for the pumping of water in the San Juan farm in the district of Cayaltí, province of Chiclayo; due to the problem of the use of a motor pump for both economic and environmental irrigation. The investigation was applied. After performing the calculations, the following was obtained: The water demand in the San Juan farm for irrigation is variable according to the month as shown in table N ° 10 and from which the month of February is the one that requires the most amount of water with 248, 51 m³ / day on the contrary in the month of June the water requirement is 123, 77 m³ / day. The solar irradiation data from NASA were obtained, from where the lowest value is 4,89 kWh / m² / day. Regarding the wind speed, we obtained the hourly data for the month of June, which is the month with the lowest wind speed and for the month of November, which is the month with the highest speed. From the calculations it was possible to determine that for the month of June the contribution of wind energy is of 9,20% while for the month of November it is 38,6% of the total energy required by the pumping system. The solar wind hybrid system was dimensioned for water pumping by selecting 01 ZONHAN wind turbine of 2 kW, 14 photovoltaic panels of the SIMAX brand, 08 ROLLS batteries of 503 Ah, 01 Blue Solar 150/85 controller and in addition of a VICTRON ENERGY inverter. 5 kW. The total cost of the hybrid solar wind pumping system is: S /. 91 201,05.

Keywords: wind energy, solar energy, motor pump, wind turbine.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
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	2
1.3. Delimitación de la Investigación	3
1.3.1. Delimitación espacial	3
1.3.2. Delimitación temporal	5
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	6
1.5. Limitaciones de la TESIS	6
1.6. Objetivos de la TESIS	7
1.6.1. Objetivo General	7
1.6.2. Objetivo Específicos	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de Estudios	8
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	12
2.2.1. Radiación solar	12
2.2.2. Principio fotoeléctrico	13
2.2.3. Energía solar aplicaciones	19
2.2.4. Instalaciones de bombeo solar	21
2.2.5. Energía eólica	44
2.2.6. Sistema eólico fotovoltaico	47
2.2.7. Cálculo del volumen de agua para riego.....	47
2.2.8. Evaluación económica de proyectos de inversión	49

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	54
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	60
3.1. Tipo y diseño de investigación	60
3.2. Población y muestra.....	62
3.3. Hipótesis	62
3.4. Variables - Operacionalización.....	62
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	63
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	64
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	65
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	65
4.1. Descripción del sistema propuesto	66
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	68
5.1. Evaluación de la energía solar disponible	68
5.2. Demanda de agua promedio diaria.....	71
5.3. Sistema de bombeo	76
5.3.1. Cálculo de la carga dinámica total	76
5.3.2. Dimensionamiento de la bomba superficial	77
5.3.3. Sistema eólico.....	79
5.3.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	84
5.3.5. Presupuesto referencial del sistema híbrido eólico solar para bombeo de agua	89
5.4. Análisis técnico económico	90
5.4.1. Sistema bombeo de agua con energía convencional	90
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Datos climatológicos de temperatura y precipitación en Cayaltí.	4
Tabla N° 2: Ubicación de Cayaltí.	5
Tabla N° 3: Principales características de las bombas fotovoltaicas.	40
Tabla N° 4: valores del exponente de Hellman.	45
Tabla N° 5: Operacionalización de variables	63
Tabla N° 6: Técnicas e instrumentos de investigación.	65
Tabla N° 7: Irradiación solar en el fundo San Juan -Cayaltí.....	70
Tabla N° 8: Demanda de agua diario para 3 hectáreas de cultivo de maíz.....	74
Tabla N° 9: eficiencia según el tipo de riego.....	75
Tabla N° 10: Requerimiento de agua por mes	75
Tabla N° 11: Energía requerida para la bomba.....	78
Tabla N° 12: Frecuencia de la velocidad del viento.....	81
Tabla N° 13: Energía suministrada por el aerogenerador ZONHAN de 2 kW.	82
Tabla N° 14: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema de bombeo híbrido eólico-solar.....	89
Tabla N° 15: costo total de la propuesta.....	90
Tabla N° 16: Flujo de caja.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Velocidad del viento promedio mensual.....	5
Figura N° 2: Célula Fotoeléctrica.....	14
Figura N° 3: Efecto fotovoltaico	15
Figura N° 4: Pirheliómetro	16
Figura N° 5: Piranómetro.....	17
Figura N° 6: Cúpula de vidrio	17
Figura N° 7: Irradiancia y horas solar pico	18
Figura N° 8: Sistema fotovoltaico conectado a red.....	19
Figura N° 9: Sistema fotovoltaico aislado	21
Figura N° 10: Esquema del Sistema de bombeo de agua solar	23
Figura N° 11: Bombeo fotovoltaico.....	24
Figura N° 12: Panel solar	26
Figura N° 13: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V	27
Figura N° 14: Variación de la curva I-V , con la irradiación solar incidente ..	28
Figura N° 15: Bombas centrifugas de succión superficial	34
Figura N° 16: Bomba centrifuga superficial	34
Figura N° 17: Bomba centrifuga sumergible.....	35
Figura N° 18: Bomba volumétrica de cilindro	36
Figura N° 19: Bomba de diafragma sumergible	38
Figura N° 20: Depósito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua	43
Figura N° 21: Sistema eólico de generación	47
Figura N° 23: Pasos para desarrollar la propuesta.....	67
Figura N° 24: conversor de coordenadas.....	68
Figura N° 25: Búsqueda de la página de la NASA	69
Figura N° 26: Acceso a la data de la NASA	69
Figura N° 27: ingreso de los datos de latitud y longitud	70
Figura N° 28: Irradiación solar en Lambayeque	71
Figura N° 29: Datos de la estación meteorología convencional Cayalti	72
Figura N° 30: Procedimiento para calcular la demanda de agua	73
Figura N° 31: demanda de agua promedio mensual	76
Figura N° 32: Curva de potencia del aerogenerador ZONHAN ZN2.0	79
Figura N° 33: Inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	87

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulado: **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO SOLAR PARA EL BOMBEO DE AGUA EN EL FUNDO SAN JUAN DE CAYALTÍ PROVINCIA DE CHICLAYO-LAMBAYEQUE”**

es una propuesta que permite bombear agua a 3 hectáreas de terreno de maíz; debido a la problemática que presenta, y a las consecuencias que trae consigo el uso de una motobomba.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en el fundo San Juan en cuanto al bombeo de agua utilizando motobomba y las consecuencias económicas y ambientales que esta produce. Luego se enuncia la formulación del 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, los cuales avalan la investigación 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 bombeo fotovoltaico utilizando energía solar fotovoltaica y eólica.

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

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones, así como los anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el Fundo San Juan en el distrito de Cayaltí el agua se obtiene utilizando una motobomba el cual presenta grandes gastos en combustible, y el costo del transporte para llevar el combustible, otra situación importante son los gastos en mantenimiento y la contaminación ambiental que se produce debido a la quema de combustible.

El estado peruano ha decidido impulsar decididamente el uso y aplicación de las energías renovables: biomasa, solar, geotérmica, hidráulica y mareomotriz (Según el Artículo 3° de DLEG-1002-2008) que jugarán un rol central en el futuro bienestar de nuestra sociedad. El Plan Nacional de Energías Renovables incluye aquellas estrategias, programas y proyectos a desarrollarse utilizando energías renovables, que tienden a mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente (Según el Artículo 11° de DLEG-1002-2008).

Con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de centrales que queman combustibles fósiles, se propone utilizar la energía eólica y solar fotovoltaica para generar energía eléctrica y así accionar un sistema de bombeo de agua.

1.2. Formulación del Problema

¿Utilizando un sistema híbrido eólico solar fotovoltaico será posible el bombeo de agua en el fundo San Juan en Cayaltí provincia de Chiclayo?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

Fundo San Juan en el Centro Poblado de El Cafetal, ubicado en el distrito de Cayaltí, provincia Chiclayo, departamento de Lambayeque.

El Fundo en mención se encuentra ubicado en la propiedad del señor Segundo Ángel Cruzado Ruiz, en el distrito de **Cayaltí**, provincia de **Chiclayo**, departamento de **Lambayeque**. Asimismo, la ruta de la red proyectada se desarrolla entre las cotas 90 y 95 m.s.n.m.; para efectos de cálculos del Proyecto se consideró 100 m.s.n.m. La topografía del área del estudio del presente proyecto nos muestra un terreno plano sin pendientes pronunciadas.

El acceso al referido fundo se hace por la vía que sale de la Ciudad de Chiclayo y llega hasta el distrito de Cayaltí, a través de la carretera Interdistrital, en buen estado de conservación; luego de llegar a la ciudad de Cayaltí se direcciona al centro poblado el Cafetal, el fundo de encuentra a 2,5 Km de Cayaltí.

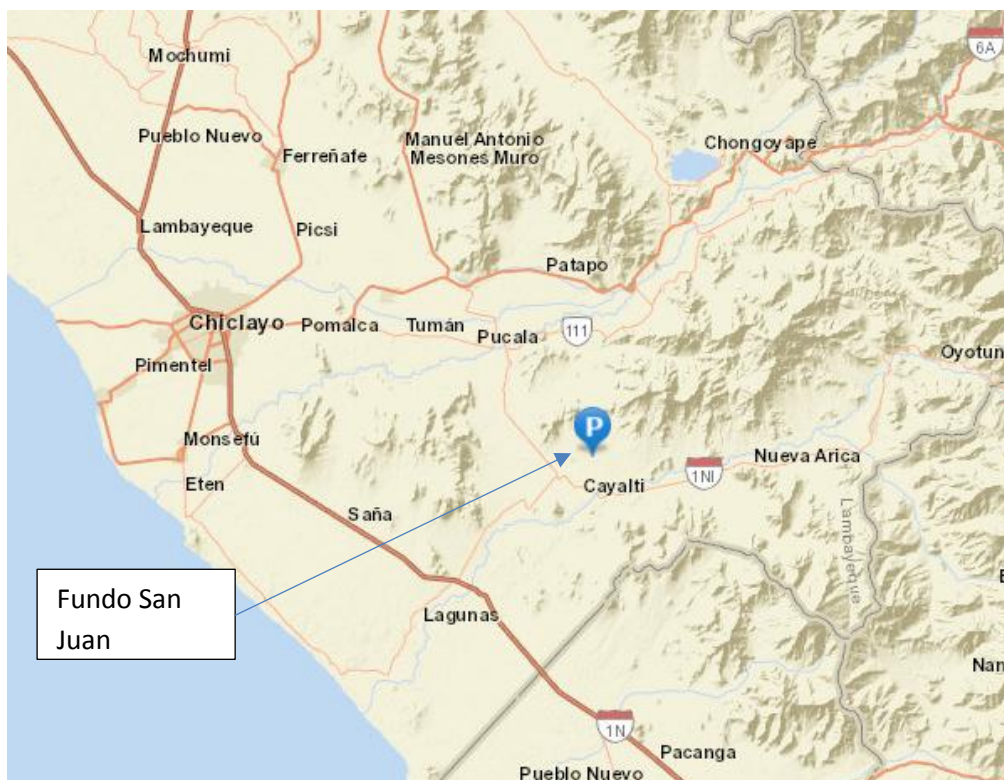


Tabla N° 1: Datos climatológicos de temperatura y precipitación en Cayaltí¹.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	25.1	25.9	26.2	26	22.8	21.2	20	19.7	20	20.6	21.5	23.2
Temperatura mín. (°C)	19.6	20.6	20.8	19.6	17.7	16.4	15.2	14.9	15.7	15.6	16.3	17.5
Temperatura máx. (°C)	30.6	31.2	31.6	30.4	28	26	24.8	24.6	24.4	25.7	26.8	29
Temperatura media (°F)	77.2	78.6	79.2	77.0	73.0	70.2	68.0	67.5	68.0	69.1	70.7	73.8
Temperatura mín. (°F)	67.3	69.1	69.4	67.3	63.9	61.5	59.4	58.8	60.3	60.1	61.3	63.5
Temperatura máx. (°F)	87.1	88.2	88.9	86.7	82.4	78.8	76.6	76.3	75.9	78.3	80.2	84.2
Precipitación (mm)	5	7	11	5	2	1	1	1	2	3	2	3

¹ <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/lambayeque/cayalti-875112/>

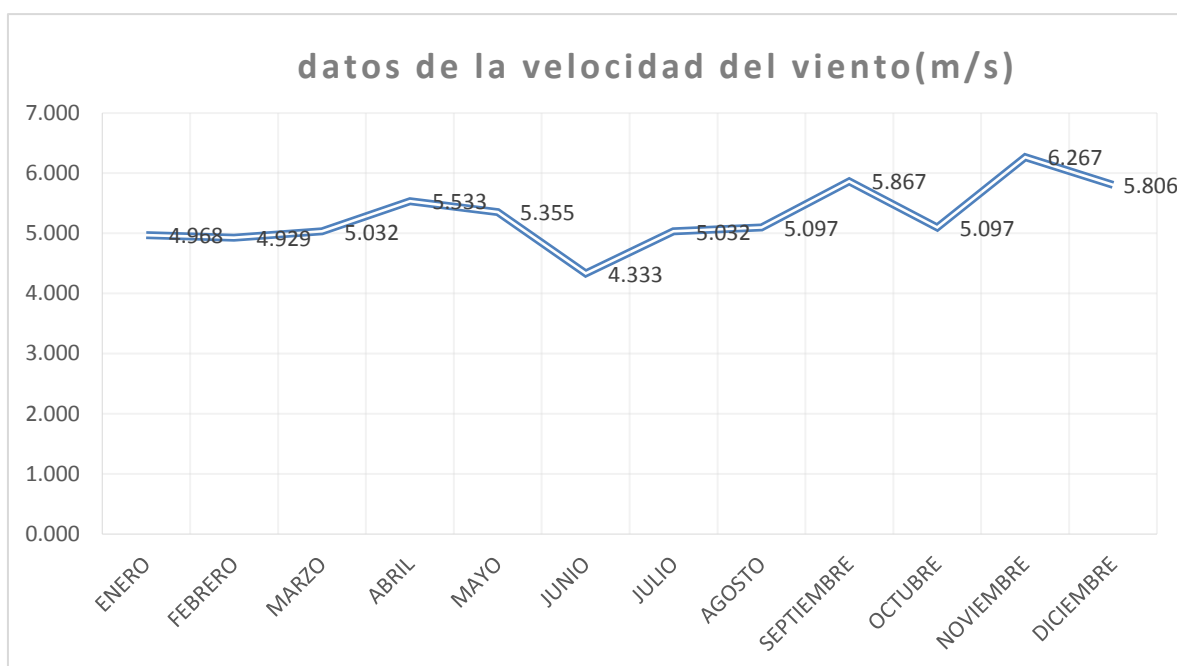


Figura N° 1: Velocidad del viento promedio mensual².

La ubicación del caserío Cayaltí en términos de latitud y longitud se presenta en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Ubicación de Cayaltí³.

Longitud	Latitud
-79.8219444	-6.3908333

1.3.2. Delimitación temporal

Este trabajo de Tesis tuvo una duración de 06 meses.

² Fuente: SENAMHI-estación meteorológica Lambayeque

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Jayanca

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación ambiental

El beneficio ambiental principal es la no contaminación, ya que está libre de emisiones de CO₂ y otros gases. Asimismo, no se precisa de un suministro exterior, no consume combustible, ni necesita presencia de otro recurso como el agua, además de no producir ruidos.

Justificación tecnológica

El estudio se justifica tecnológicamente ya que la investigación proporciona conocimientos técnicos con material de última generación empleándose una tecnología que permita establecer una producción energética con bajos costos para uso de sistemas de bombeo de agua.

Justificación económica

La justificación es debido a que, en el sistema híbrido eólico solar los costos de operación y mantenimiento son mucho menores que la operación del sistema de bombeo de agua con combustible.

Justificación Científica

Fomentar el uso de estas energías no convencionales como nuevas fuentes de estudio científico.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Los datos de radiación solar se limitaron a dos fuentes, las cuales son: el atlas solar del Perú, página web de la NASA; los datos de la velocidad

del viento se han obtenido de la estación meteorológica automática LAMBAYEQUE del SENAMHI.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo San Juan en el distrito de Cayaltí provincia de Chiclayo.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la demanda de agua promedio diario requerida en el fundo San Juan.
- b) Obtener los valores de irradiación solar promedio mensual y velocidad del viento en el fundo San Juan.
- c) Dimensionar el sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua.
- d) Determinar el costo de inversión del sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Alvares Arboleada (2017, pág. 54), En su tesis de grado titulada “Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC “ nos dice el proyecto cumple con las exigencias planteadas utilizando recursos naturales mediante el uso de paneles fotovoltaicos como fuente de energía para el bombeo y abastecimiento del agua que sirve para el consumo, y riego de los cultivos en zonas rurales donde carecen de suministro de energía eléctrica y agua potable. Los paneles fotovoltaicos es una clara muestra de energía alternativa siendo estos más viables y estables para alimentar el sistema de bombeo abaratando costos a largo plazo teniendo una amplia ventaja sobre los sistemas de riego tradicionales que usan combustibles. Las bombas solares son considerablemente eficientes porque no requieren de baterías su función es bombear siempre y cuando exista radiación solar disponible en el lugar del proyecto.

Cabrera Peña & Fermin Montiel (2003, pág. 12) en su tesis titulada “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 nublados. 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)

Contexto nacional

Sánchez Barboza (2016, pág. 9) en su tesis titulado “Diseño de un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica para mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del estable Gesa - Lambayeque, 2016” nos expresa que con la finalidad de Diseñar un

suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica que permita mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del estable GESA - Lambayeque; el proceso metodológico presenta un tipo de investigación aplicado – tecnológico con diseño pre - experimental, se trabajó con una población y muestra representativa constituida la capacidad de agua necesaria para el estable de GESA en Lambayeque. Se utilizó la técnica de la observación y los instrumentos permitieron medir los valores adecuados para el diseño; el análisis y procesamiento estadístico se realizó a través de la estadística descriptiva. El propósito del presente trabajo, es contribuir el mejoramiento del bombeo del estable GESA, las celdas fotovoltaicas permiten en condiciones óptimas desarrollar las actividades de una manera segura. El diseño realizado se justifica, en la medida que ayudará, a solucionar los problemas propios del estable GESA en cuanto a sus necesidades de agua, así mismo el aporte de la investigación se centra en la importancia de esta investigación que propone una alternativa de ahorro energético. La conclusión más relevante del informe se expresa en que el costo total para el diseño será de 10,050 nuevos soles que garantizará una adecuada funcionalidad para un prolongado tiempo del sistema fotovoltaico, a pesar del corto tiempo de implementación.

Hernández Quijaite, en su trabajo de tesis “Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica” da a conocer que el principal limitante de los sistemas convencionales es que el combustible suele tener continuos incrementos en su precio de venta, si a esto le suma el costo por transporte y los gastos operativos que supone la instalación, el costo resulta mayor respecto a lo obtenido con la energía solar. Aunque la

inversión inicial se estima relativamente alta, los gastos operativos (operador, mantenimiento, etc.) no son significativos. Se debe tener en cuenta que el precio de los módulos solares ha disminuido en los últimos años, haciendo que los sistemas de bombeo solar resulten económicos. Además, sostiene que 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. 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 (Hernandez Quijaite).

Contexto Local

Jorge Máximo Moran Santamaría; en su tesis de Ingeniería titulada “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”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica de manera geográfica por tener limitaciones al acceso de redes eléctricas por su distancia, altos costos de transporte y recursos energéticos limitados, lo que hace tener un costo elevado en la generación de energía; el cual lo llevo 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 sistemas fotovoltaicos es de S/. 393,154.87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052.88 la cual es muy superior⁴.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Radiación solar

Radiación Solar: La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de $1,52 \times 10^{17}$ Kwh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar (flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida *fuera de la atmósfera* sobre una superficie

⁴ Moran Santamaria, Jorge Maximo. «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.

perpendicular a los rayos solares es conocida como *constante solar* y es igual a $1\,366\text{ W/m}^2$, variable durante el año un 3 % a causa de la eccentricidad de la órbita terrestre.

Radiación Solar Directa: es la radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área, que sin haber sufrido modificación en su trayectoria, incide sobre una superficie.

Radiación Solar Reflejada: es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

Radiación Solar Reflejada: es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

2.2.2. Principio fotoeléctrico⁵

A base sobre la cual se fundamenta los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica (ver figura N° 2). Este efecto tiene lugar en las llamadas células fotoeléctricas, unidad básica que componen los módulos o paneles fotovoltaicos.

⁵ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>



Figura N° 2: Célula Fotoeléctrica.

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

Toda radiación de luz solar está compuesta por partículas elementales, llamadas fotones. Estas partículas llevan asociada un valor de energía (E), que depende de la longitud de onda (λ) de la radiación, y cuyo valor cuantitativo viene expresado de la forma siguiente:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots (1)$$

donde (h) es la constante de Planck 6.63×10^{-34} J·s y (c) es la velocidad de la luz.

Cuando un módulo fotovoltaico recibe radiación solar, los fotones que componen dicha radiación inciden sobre las células fotovoltaicas del panel tal como se muestra en la Figura N° 3. Éstos pueden ser reflejados, absorbidos o pasar a través del panel, y sólo los fotones que quedan absorbidos por la célula fotovoltaica son los que, finalmente, van a generar electricidad.

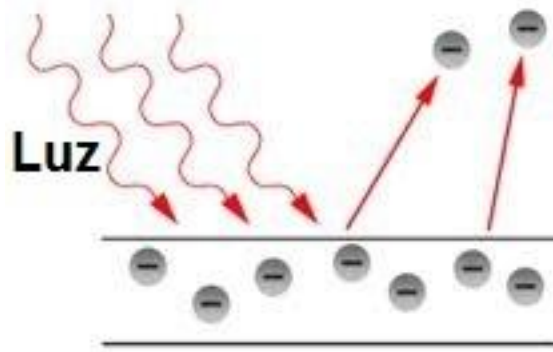


Figura N° 3: Efecto fotovoltaico.

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

En efecto, cuando el fotón es absorbido por la célula, la energía que porta el fotón es transferida a los átomos que componen el material de la célula fotovoltaica. Con esta nueva energía transferida, los electrones que están situados en las capas más alejadas son capaces de saltar y desprenderse de su posición normal asociada al átomo y entrar a formar parte de un circuito eléctrico que se genera.

Por lo tanto, un factor crucial para que pueda generarse el efecto fotovoltaico es que las células de los paneles solares estén compuestas por un tipo determinado de material, tales que sus átomos sean capaces de liberar electrones para crear una corriente eléctrica al recibir energía.

2.2.2.1. Instrumentos de medición de la radiación solar

a) Radiación solar directa

El instrumento de medición se llama pirheliómetro. Éste mide la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones. El instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol. (ver figura N° 4)

Como sensor se utiliza una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termocuplas, varía con la radiación solar directa que llega a la placa. (Lara Yevenes, 2007).



Figura N° 4: Pirheliómetro.

Fuente: <http://sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/luz-solar/articulo/pirheliometro-DR03-first-class-primera-clase.html>

b) Radiación solar global (directa+difusa)

El instrumento de medición se llama piranómetro, y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y la difusa. Unas

placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores. Las placas negras se calientan más que las blancas, debido a que absorben más radiación. Mediante termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, la cual es función de la radiación solar global. Para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio. Para medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor (ver Figura N°5). (Lara Yevenes, 2007).



Figura N° 5: Piranómetro.

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).



Figura N° 6: Cúpula de vidrio.

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).

2.2.2.2. Insolación

Éste es otro concepto importante, el cual corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Wattshora por metro cuadrado (Wh/m^2). Generalmente, se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico (HSP). Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de $1,000 \text{ W/m}^2$ (véase figura N° 7). La energía que produce un arreglo FV es directamente proporcional a la insolación que recibe.



Figura N° 7: Irradiancia y horas solar pico.

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).

2.2.3. Energía solar aplicaciones

2.2.3.1. Clasificación de instalaciones

En la actualidad existen dos configuraciones básicas de utilización de la energía fotovoltaica.

a) Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

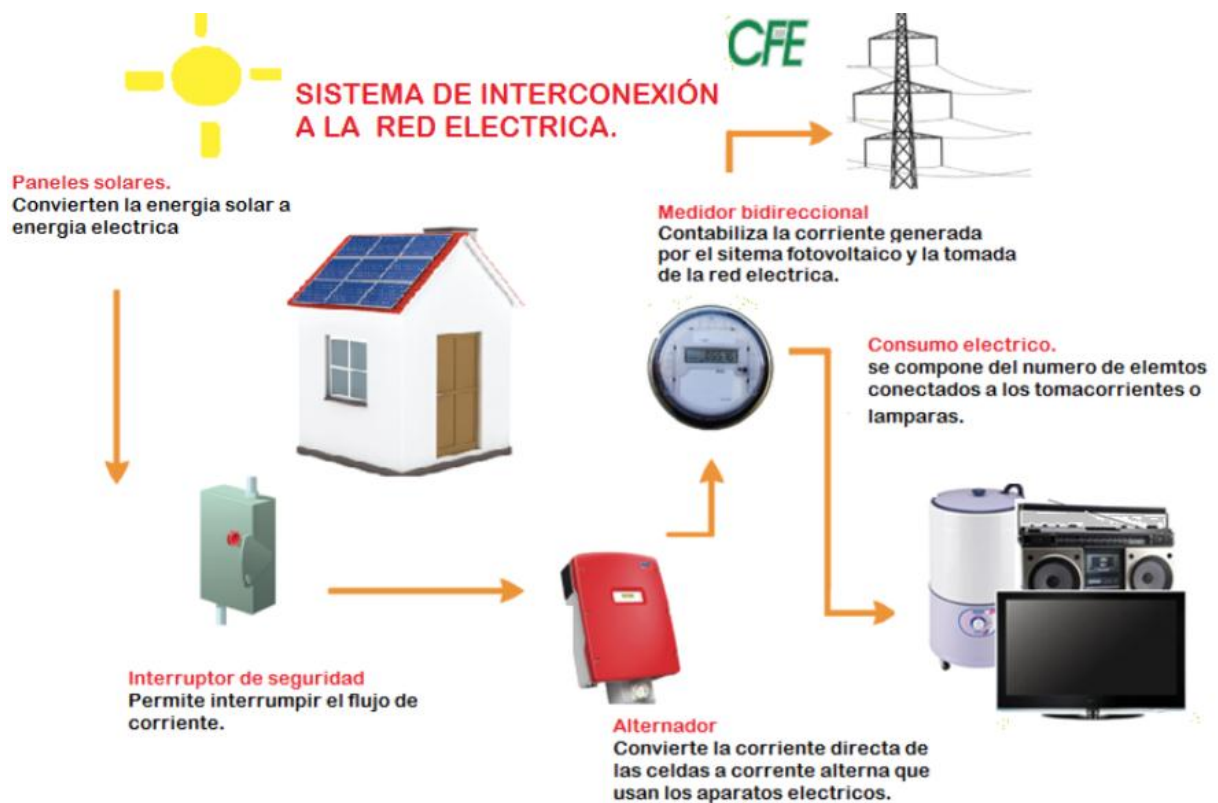


Figura N° 8: Sistema fotovoltaico conectado a red.

Fuente: <http://www.imimex.com.mx/energiafotovoltaica/>

La energía eléctrica producida por los módulos en forma de corriente continua (D.C.) es convertida en corriente alterna (A.C.) e inyectada a la red a través de un elemento electrónico de potencia llamado inversor que se sincroniza con la red pública a la que se conecta. No hay acumulación. El objetivo es conseguir inyectar la

máxima producción de energía diaria. Las condiciones tanto técnicas como económicas de este tipo de instalaciones han venido siendo reguladas por un desarrollo legislativo muy cambiante desde hace varios años. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

b) Sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica

En ésta aparecen dos elementos nuevos importantes: las baterías, encargadas de acumular la energía eléctrica para los periodos donde no hay radiación solar, y el regulador o cargador de baterías que se encarga de gestionar el buen funcionamiento de esta función (importante para la vida útil de las baterías). (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

El inversor, igual que en el caso de las instalaciones conectadas a la red, convierte la corriente continua en alterna para alimentar a las cargas que lo precisan (ver figura N°9). En este caso el inversor es similar al de conexión a red con algunas características particulares que lo hacen, en general, más complejo y caro. El dimensionado de este tipo de instalaciones se basa en producir y acumular la cantidad de energía eléctrica, de la que se precisa disponer, con el tiempo de autonomía que se requiera para la instalación. Para instalaciones aisladas es típico contar con 3 a 5 días de autonomía. Este hecho obliga a un dimensionado suficiente de las baterías que se convierten en el elemento más caro de la instalación. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

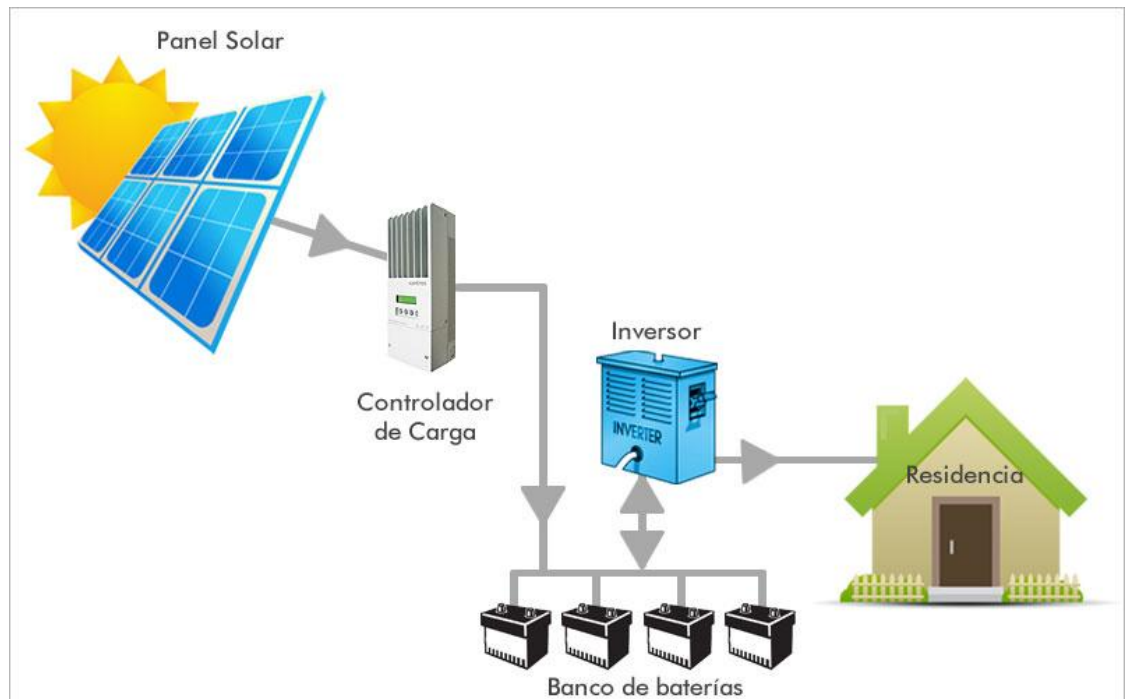


Figura N° 9: Sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: <http://www.iasolar.com/productos>

2.2.4. Instalaciones de bombeo solar

Las instalaciones de bombeo solar podemos considerarlas como un caso particular de instalación aislada cuya característica principal es la no utilización de baterías de potencia sino el uso directo de la energía solar para el bombeo. Siempre que el abastecimiento lo precise y haya sol suficiente se bombeará. Este planteamiento es ciertamente novedoso, pero ya se ha empezado a utilizar en algunas instalaciones punteras, concretamente en Aragón, auspiciadas por este Instituto. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

Los módulos fotovoltaicos en sí mismos son elementos de prácticamente nulo mantenimiento. Para estas aplicaciones no se recomienda, como más adelante se verá, el uso de mesas seguidoras. Los módulos deben estar soportados por estructuras fijas ancladas al terreno, con la debida orientación e inclinación, que no necesitan de especial atención. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas convencionales la batería viene siendo el elemento más delicado en cuanto a mantenimiento y duración. Su tecnología ha mejorado mucho en los últimos años, sin duda continúa haciéndolo en la actualidad. Aunque se esperan buenas perspectivas para un futuro no muy lejano, su duración, a día de hoy, no supera los siete u ocho años sin tener que reemplazarlas. En los sistemas de abastecimiento de agua, como el esquematizado en la Figura N° 10, se cuenta con la ventaja inherente, a este tipo de instalaciones, de disponer un depósito acumulador necesario para dar servicio a las necesidades de agua de la población. Este es el dispositivo que nos permite plantear la aplicación sin baterías de acumuladores (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 9)

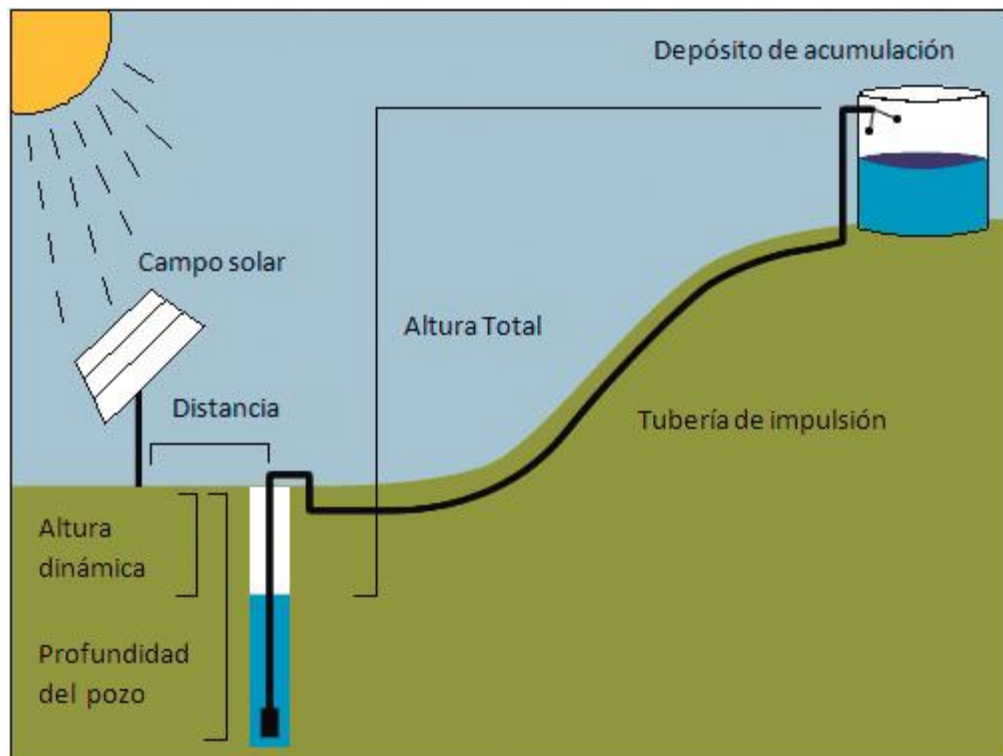


Figura N° 10: Esquema del Sistema de bombeo de agua solar.

Fuente: (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 9)

2.2.4.1. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente

instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío (Figura N° 11). A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 6)

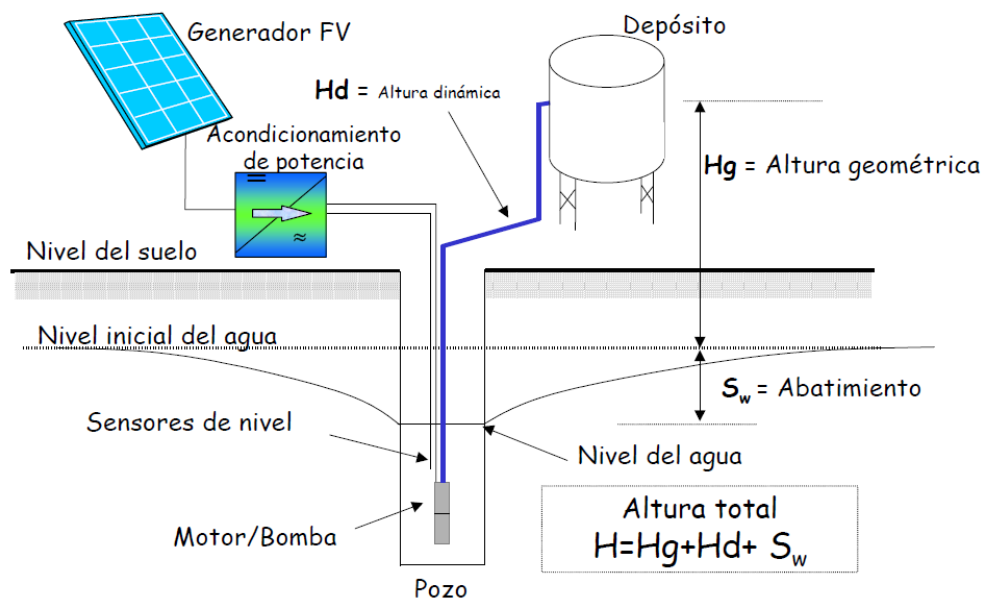


Figura N° 11: Bombeo fotovoltaico.

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 7)

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

Las condiciones hidráulicas

a) La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.

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

Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica).

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

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 de corriente alterna, etc.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- i. Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- ii. Subsistema motor-bomba.
- iii. Subsistema de acondicionamiento de potencia.
- iv. Subsistema de acumulación y distribución.

2.2.4.2. Subsistema de captación

Cabrera peña & Fermin Montiel (2003, pág. 52) nos explica:

El subsistema de captación está constituido por los paneles solares Figura N° 12, los cuales transforman la radiación solar en electricidad, para ello han de instalarse sobre unas estructuras adecuadas con la debida orientación e inclinación para maximizar la producción. Un panel solar está constituido por varias celdas iguales, conectadas electrónicamente entre sí, en serie y paralelo

de forma que la tensión y la corriente suministrada por el panel se incrementen hasta ajustarse al valor deseado.

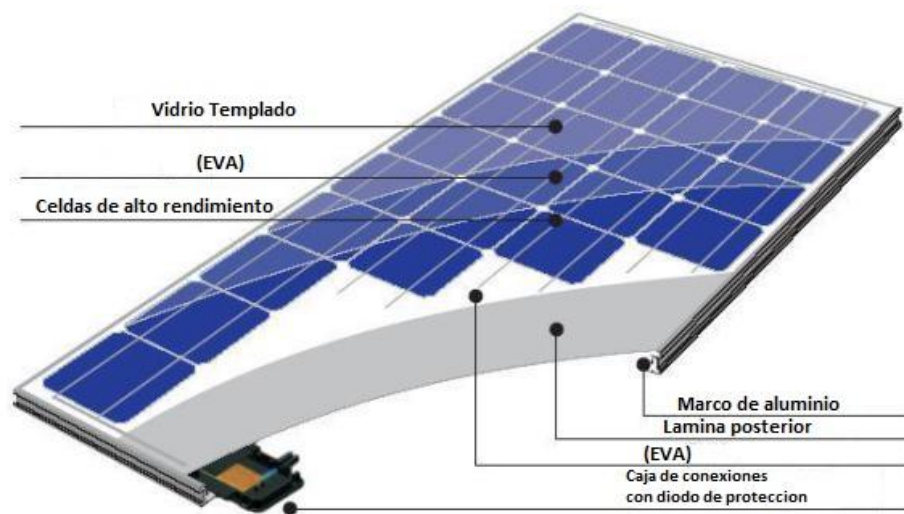


Figura N° 12: Panel solar.

Fuente: <http://codensolar.com/producto/panel-solar-perlight-150w-polycristalino/>

El panel contiene otros elementos que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes exteriores, aseguran una rigidez suficiente posibilitando la sujeción a las estructuras que los soportan y permiten la conexión eléctrica.

La eficiencia de conversión de módulos en general, es siempre menor que la eficiencia de las celdas solares individuales por varias razones: No toda el área del módulo está cubierta por celdas, pérdidas en la cubierta anterior y el relleno encapsulante y variaciones en las características eléctricas de celda a celda. Es

aceptado que la eficiencia de los módulos que hoy se comercializan es 10 ó 20 % menor que la de las celdas individuales empleadas.

El coeficiente de expansión térmica de los materiales protectores, tanto el superior como el inferior, debe ser similar y compatible además con el de las celdas. Los módulos solares fotovoltaicos se construyen para una vida útil al menos de 20 años. Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas, la de laminación del encapsulante, que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas. La corriente y el voltaje entregados por un módulo varían con la temperatura ambiente y con la intensidad de la luz incidente. Las curvas típicas de corriente y voltaje de un módulo solar se muestran en la Figura N° 13 y Figura N° 14.

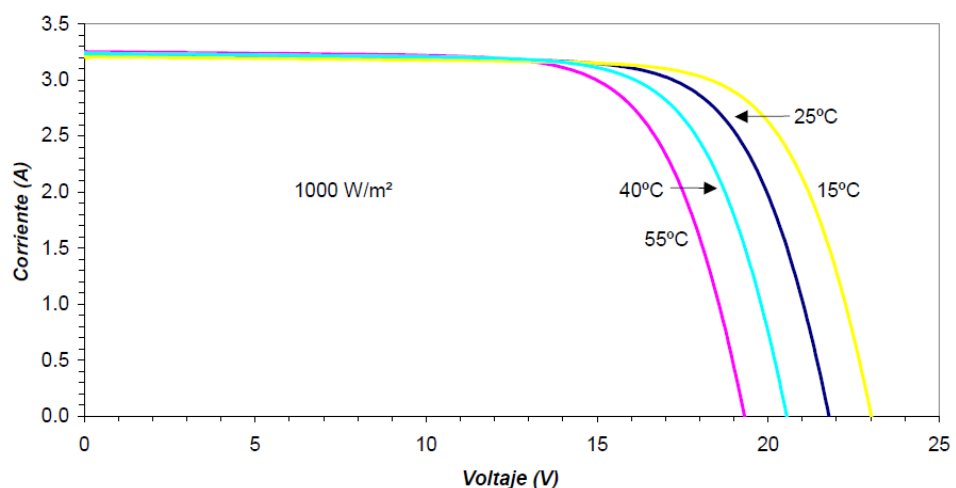


Figura N° 13: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V.

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 10)

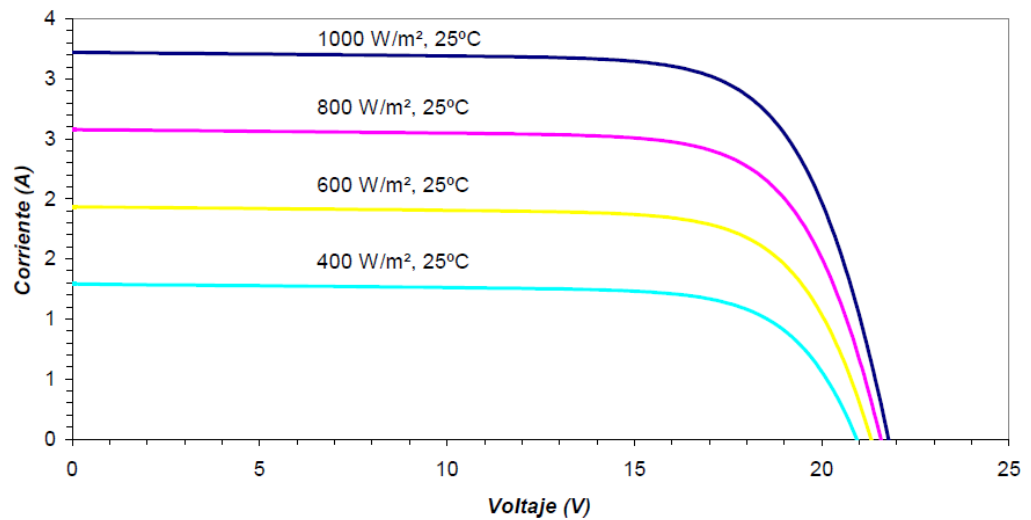


Figura N° 14: Variación de la curva I-V , con la irradiancia solar incidente.

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 10)

Estas variaciones son de suma importancia para el diseño óptimo de un SFV. Además, causan problemas para la comparación entre módulos, por lo que se ha definido el Watt- pico como aquel Watt de potencia entregado por un módulo FV cuando este recibe una insolación de 1000 W/m^2 a una temperatura ambiente de 25°C . Por lo anterior no es posible comparar directamente la potencia instalada de un SFV con un generador convencional. Es necesario la energía entregada en un determinado período de tiempo.

2.2.4.3. Subsistema Motor- Bomba

Para el subsistema motor – bomba lo detallaremos en dos partes:

Motores.

Bombas.

a. Motores⁶.

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. 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.

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

⁶ (Paredes Rubio 2001)

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. Arranque lo que encarece el sistema fotovoltaico.

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. Bombas⁷.

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.

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

⁷ (Paredes Rubio 2001)

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.

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 sufre 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).

2.2.4.4. 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 **centrifugas y volumétricas**⁸.

A. Bombas centrífugas⁹.

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie son capaces de bombear el agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Las bombas de succión superficial se instalan a nivel del suelo y tienen ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio

⁸ (Paredes Rubio 2001)

⁹ (Paredes Rubio 2001)

fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros. (ver figura N° 15).

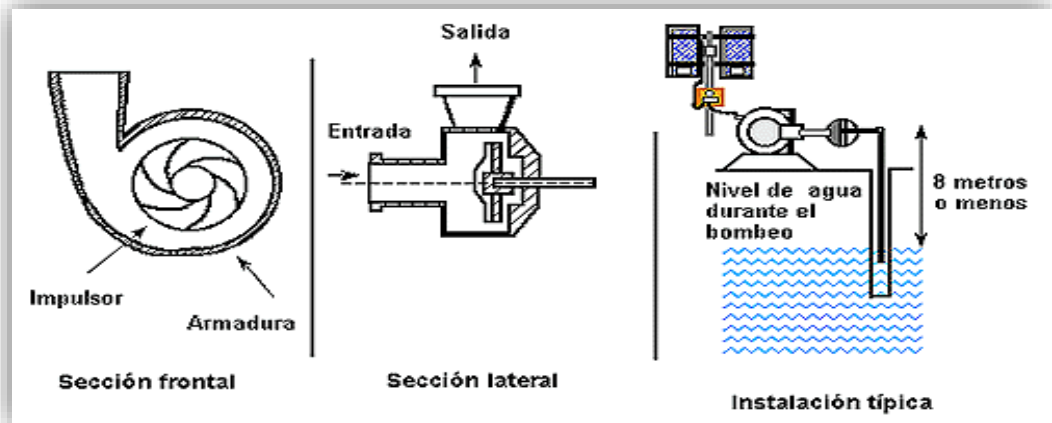


Figura N° 15: Bombas centrífugas de succión superficial.

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)



Figura N° 16: Bomba centrífuga superficial.

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

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).

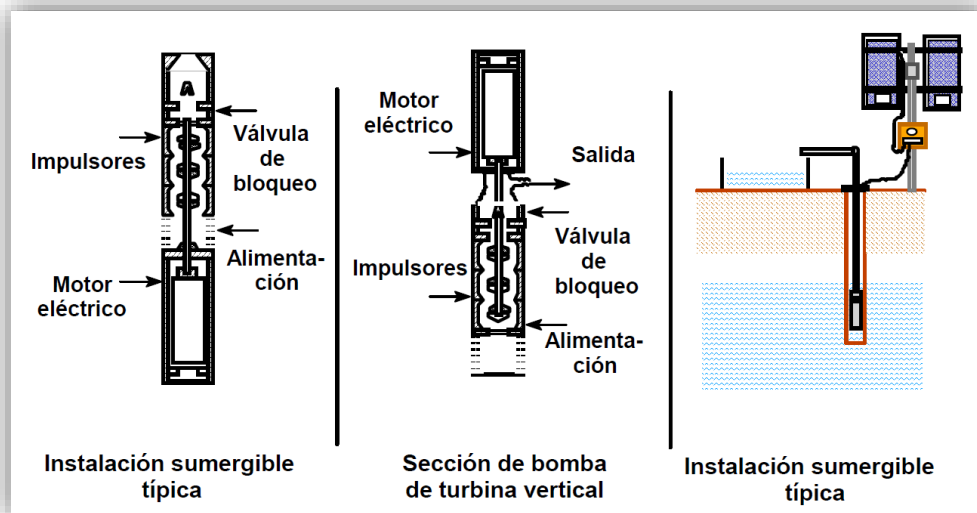


Figura N° 17: Bomba centrífuga sumergible.

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

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).

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.

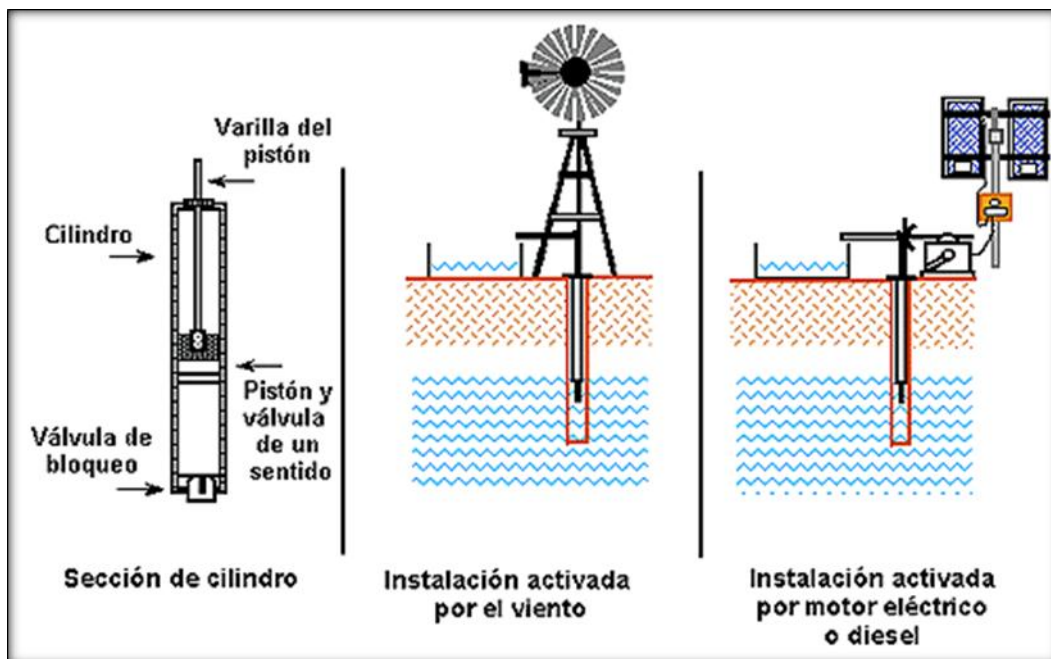


Figura N° 18: Bomba volumétrica de cilindro.

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

C. Bombas de cilindro:

Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando este sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por el arreglo fotovoltaico. (Paredes Rubio 2001).

D. 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).

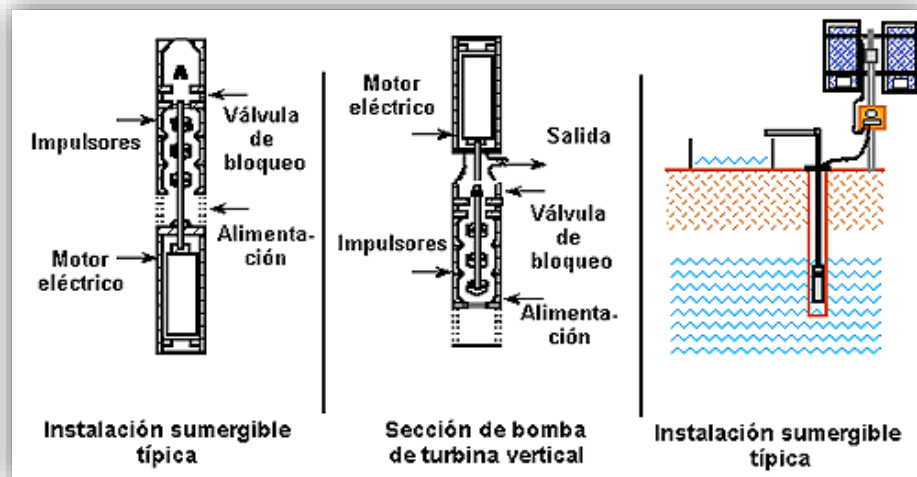


Figura N° 19: Bomba de diafragma sumergible.

Fuente: (Paredes Rubio 2001).

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 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).

2.2.4.5. 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 las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para los gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total.

En la tabla N° 3 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 fotovoltaicas.

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.
Desplaza- miento 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.

Fuente: (Paredes Rubio 2001).

2.2.4.6. Subsistema de acumulación

(Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 26) explica que:

Un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica únicamente suministra agua durante las horas de sol (en las cuales se supere la irradiancia umbral) a no ser que se incluyan en el sistema acumuladores electroquímicos o baterías o depósitos de almacenamiento de agua. Las baterías pueden almacenar la energía excedente en las horas de sol para suministrarla cuando ésta no sea suficiente para bombear el agua demandada y pueden mejorar el acoplo generador- motor. La inclusión de baterías en el sistema, en general, no es recomendable ya que disminuyen la fiabilidad del sistema, aumentan el coste del sistema de bombeo y las necesidades de mantenimiento, aunque en ciertos casos es beneficioso porque aprovecha mejor la energía fotogenerada y el motor opera en sus condiciones nominales.

Una forma alternativa de almacenar energía es mediante el uso de depósitos de almacenamiento de agua (ver Figura N° 20), los cuales, dependiendo de su capacidad, pueden proporcionar el déficit de agua en aquellos momentos en que el caudal bombeado no alcance el consumo demandado.

La inclusión en el sistema de un depósito de almacenamiento hace que se pueda disminuir la potencia pico del generador.

En aplicaciones de riego agrícola se pueden distinguir dos tipos de almacenamiento de agua: Almacenamiento a largo plazo, en el cual

se almacena el agua de un mes para otro. Almacenamiento a corto plazo, permitiendo almacenar agua de un día para otro, lo que permite evitar la falta de agua en determinados días de baja radiación solar.

El almacenamiento a largo plazo necesita depósitos de gran volumen que lo hacen económicamente no aconsejables en la mayoría de los casos a no ser que ya estén disponibles por otras razones. Por contra, se aconseja el uso de pequeños depósitos de almacenamiento a corto plazo.

En aplicaciones de suministro de agua potable es esencial incluir un depósito de almacenamiento para asegurar varios días de autonomía. Para evitar el aumento de la altura manométrica con la inclusión del depósito es necesario cuidar la relación entre el diámetro y la altura del mismo. Además, éste debería estar cubierto con el objeto de minimizar las pérdidas por evaporación y entrada de suciedad.

Si se opta por el uso de un depósito de almacenamiento de agua se puede disminuir la potencia pico del generador y del grupo motor - bomba hasta un punto en el que el caudal bombeado más el volumen de agua almacenado no sean suficientes para satisfacer la demanda de agua.

BOMBEO DE POZOS CON ENERGIA SOLAR

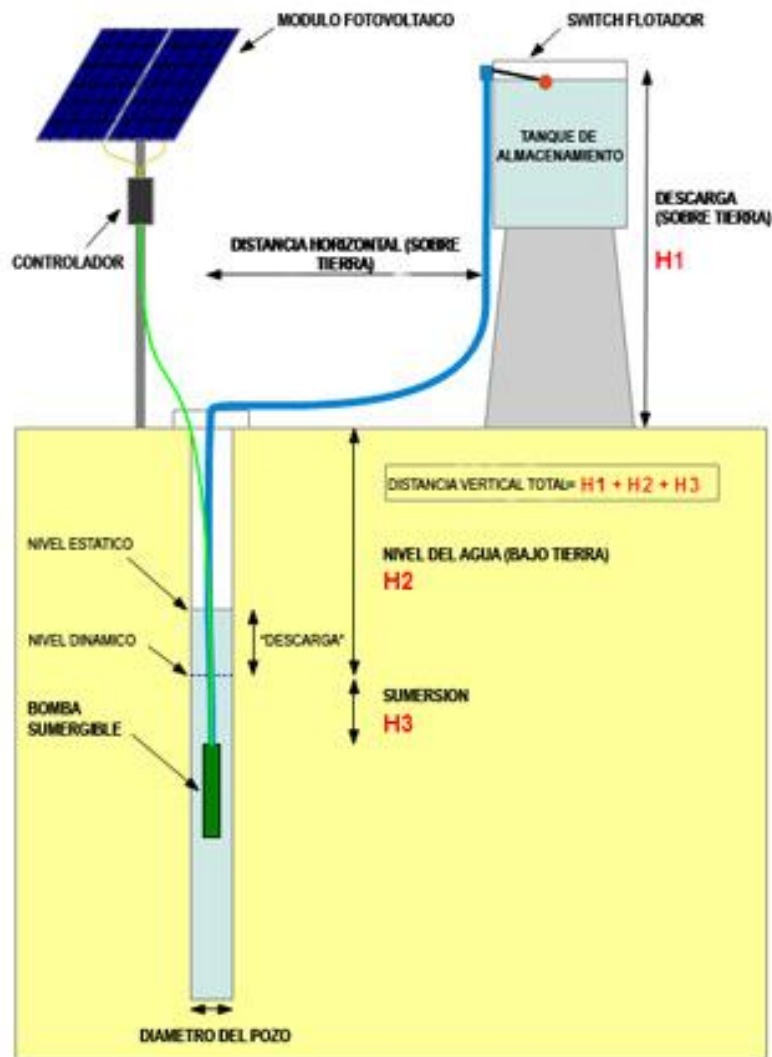


Figura N° 20: Deposito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua.

Fuente: <http://www.geckologicmexico.com/bomba-de-agua-sumergible/>

2.2.4.7. Controladores

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 controles 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).¹⁰

2.2.5. Energía eólica¹¹

La **energía eólica** es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los **aerogeneradores**, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. La **energía del viento** puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino.

Potencia del viento¹²

La función de los aerogeneradores es interceptar la energía del viento que pasa a través de la zona de barrido del rotor para transformarla así en electricidad (Fernandez zayas 2010).

El potencial eólico se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$Potencial\ eolico = \frac{\rho \pi r^2 V^2}{2} \dots (2)$$

Donde:

ρ = Densidad del aire en el sector (Kg/m³)

A = Área del barrido del rotor (m²)

¹⁰ (Díaz Corcobado 2008)

¹¹ <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>

¹² (Fernandez zayas 2010)

V = Velocidad media del viento (m/s)

r = Radio de giro de las aspas (m)

Ley exponencial de Hellmann.

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico, conocida como ley exponencial de Hellmann, de la forma de la ecuación (3):

$$V(h) = V_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \dots (3)$$

Dónde:

V (h) = Velocidad promedio del viento no conocida a una altura (m/s)

Vref. = Velocidad promedio del viento conocida a una altura (m/s)

H = Altura a la que se desea conocer V (h) (m)

Href. = Altura a la que se midió Vref. (m)

α = Coeficiente de rugosidad.

Tabla N° 4: valores del exponente de Hellman¹³.

TIPO DE TERRENO	EXPONENTE α
Lugares llanos con hielo o hierba.	0,08 – 0,12
Lugares llanos (mar, costa).	0,14
Terrenos poco accidentados.	0,13 – 0,16
Zonas rústicas.	0,2
Terrenos accidentados o bosques.	0,2 – 0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades.	0,25 – 0,4

¹³ (Hualpa Mamani 2006, pag. 27)

Distribución de Weibull

Se caracteriza porque emplea dos parámetros, el parámetro de forma y el parámetro de escala, es el método más usado para estimar la velocidad viento.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \dots \dots (4)$$

Donde:

K: parámetro de forma.

C: Parámetro de escala.

2.2.5.1. Sistema eólico de generación¹⁴

El sistema eólico de generación es un sistema de generación eléctrica basado en el aprovechamiento de viento como recurso renovable, este es el encargado de dar movimiento a las aspas mediante el eje conectado al multiplicador o caja de engranajes. Este es el encargado de aumentar las revoluciones por minuto (r.p.m.) en el generador eléctrico, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo a la demanda existente en la carga y a los niveles del banco de baterías. (vease la figura N° 21)

¹⁴ (Herbas Morerira y Moscoso Noroña 2015)

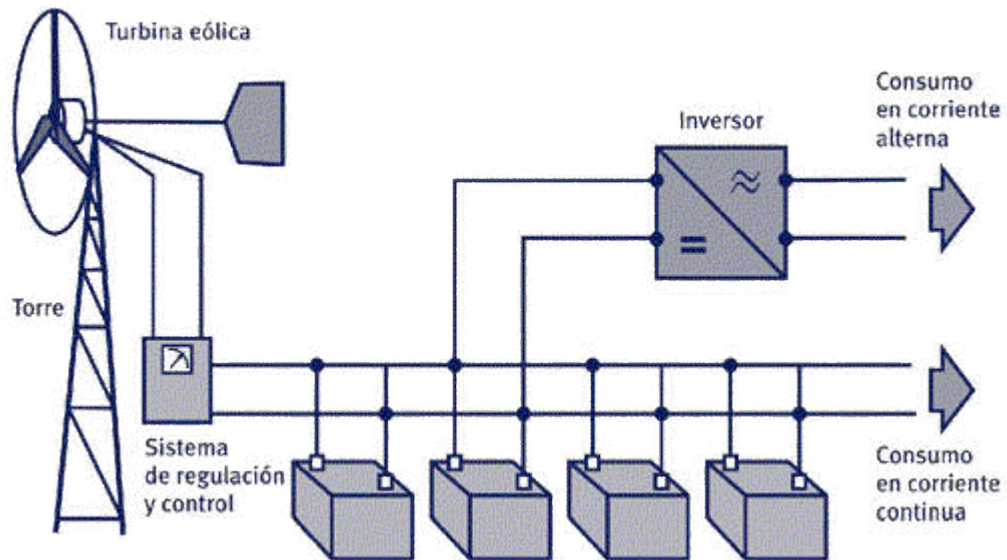


Figura N° 21: Sistema eólico de generación¹⁵.

2.2.6. Sistema eólico fotovoltaico

El sistema híbrido consta de dos sistemas independientes de generación, en este caso está compuesto de una parte eólica y otra solar fotovoltaica.

2.2.7. Cálculo del volumen de agua para riego

Para determinar el volumen de agua requerido por hectárea para cultivo se seguirá el procedimiento establecido por Hargreaves cuyo procedimiento de cálculo se presenta a continuación:

Primeramente necesitamos datos de una estación meteorología sobre la humedad relativa promedio mensual, temperatura promedio mensual, altura

¹⁵ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia52/HTML/articulo03.htm>

sobre el nivel del mar, precipitación mensual humedad, latitud del lugar de estudio.

Luego determinaremos la evapotranspiración potencia el cual se calcula con la siguiente ecuación:

a) Evapotranspiración potencial

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE \dots (5)$$

Dónde: ETP: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

MF: Factor mensual de latitud.

TMF: Temperatura media mensual [°F].

CH: Factor de corrección para la humedad relativa.

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

El factor de corrección por humedad relativa: Está dado por la siguiente ecuación:

$$CH = 0,166 \times \sqrt{100 - HR} \dots (6)$$

Dónde:

HR: Humedad Relativa media mensual [%].

La fórmula anterior se emplea para valores de HR mayores de 64%, pero para $HR < 64\%$, $CH = 1$.

El factor de corrección por altura

$$CE = 1 + 0,04 \times \left(\frac{E}{2000} \right) \dots (7)$$

Dónde: E: Altitud o Elevación del lugar [m.s.n.m].

El factor mensual de latitud (MF)

Para ello debemos determinar primero la latitud del lugar en estudio y luego consultaremos el factor mensual de latitud del ANEXO 02.

a) **Factor de cultivo**

El factor de cultivo se determina a partir del tipo de cultivo el cual se encuentra en el ANEXO 03.

Entonces la evotranspiración real (ETA) es de:

$$ETA = K_c \times ETP \dots (8)$$

Precipitación efectiva: Para determinar la precipitación efectiva (PE) se utilizara la siguiente ecuación:

$$PE = 0,6 \times P - 10 \dots (9)$$

Demanda de agua: Mediante la siguiente ecuación:

$$DA = ETA - PE \dots (10)$$

Sin embargo, el caudal que necesitamos es mayor debido a la eficiencia del riego.

2.2.8. Evaluación económica de proyectos de inversión

Los sistemas fotovoltaicos tienen actualmente múltiples aplicaciones (en el sector doméstico, industrial y agropecuarias, pero es necesario un análisis de viabilidad económica y factibilidad técnica para determinar si es la más apropiada para tal fin.

2.2.8.1. Indicadores

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que podemos hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc¹⁶.

Valor Actual Neto (VAN)¹⁷

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como Valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc.)

¹⁶ Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura.*

¹⁷ <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia¹⁸.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (11)$$

F_t : son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n : es el número de periodos de tiempo

k : es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

$VAN > 0$: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

$VAN = 0$: el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$VAN < 0$: el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

¹⁸ <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Sapag Chain y Sapag Chain (2008, pág. 323) nos indica lo siguiente:

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. La TIR “representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo”. Aunque ésta es una apreciación muy particular de estos autores (no incluye los conceptos de costo de oportunidad, riesgo ni evaluación de contexto de la empresa en conjunto), sirve para aclarar la intención del criterio.

La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la siguiente ecuación:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \dots (12)$$

F_t : son los **flujos de dinero** en cada periodo t

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n : es el número de periodos de tiempo

Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

Otros indicadores de decisión

Sapag Chain y Sapag Chain (2008, pág. 329) nos indica lo siguiente: Muchos otros métodos se han desarrollado para evaluar proyectos, aunque todos son comparativamente inferiores al valor actual neto; algunos por no considerar el valor tiempo del dinero y otros porque, aunque lo consideran, no entregan una información tan concreta como aquél.

Uno de los criterios tradicionales de evaluación bastante difundido es el del periodo de recuperación (**PR**) de la inversión, mediante el cual

se determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, resultado que se compara con el número de periodos aceptable por la empresa. Si los flujos fuesen idénticos y constantes en cada periodo, el cálculo se simplifica a la siguiente expresión:

$$PR = \frac{I_0}{BN} \dots (13)$$

donde PR , periodo de recuperación, expresa el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial I_0 cuando los beneficios netos generados por el proyecto en cada periodo son BN .

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Orbezo y Aribilca (2010, pág. 8;9) consideran el siguiente glosario de términos:

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 ésta opera.

Celda solar o celda fotovoltaica: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

Celdas de película delgada: Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.

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 a la red: Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.

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 m^2 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/m^2 .

Contador eléctrico: Instrumento que mide la energía consumida. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Mide los consumos en kWh.

Capacidad instalada: Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.

Corriente alterna: En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo).

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.

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

Factor de llenado: Razón entre la máximo potencia y el producto de la corriente de corto circuito por el voltaje de circuito abierto. Mide la desviación de la curva I-V de la forma rectangular ideal de esta curva.

Gigawatt: Mil millones de watts ($1 \text{ GW} = 1\,000\,000\,000 \text{ W}$)

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m^2 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 ($1 \text{ KW} = 1\,000 \text{ W}$) 31. Masa de aire: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

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 $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo.

Radiación difusa: Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.

Regulador de carga: También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas.

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).

Termocupla: Dispositivo compuesto de dos alambres metálicos diferentes que sirve para medir temperatura, mediante una corriente eléctrica proporcional a la temperatura leída.

Tierra (grounding): Conexión que se hace en la tierra para emplearla como retorno en un circuito eléctrico y arbitrariamente como punto de potencial cero.

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)

Radiación solar. Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

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

Célula solar o fotovoltaica. Dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica.

Módulo fotovoltaico. Conjunto de células solares interconectadas entre si y encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Rama fotovoltaica. Subconjunto de módulos fotovoltaicos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión del generador.

Generador fotovoltaico. Asociación en paralelos de ramas fotovoltaicas.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada:

La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo¹⁹. Aplicaremos entonces los conocimientos de sistemas eólicos fotovoltaicos, sistemas de bombeo de agua para dar solución a un problema que se presenta en el Fundo San Juan.

El tipo de investigación es Descriptiva:

El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento²⁰. Entonces es descriptiva porque pretende describir las características, la situación actual en que se encuentra en fundo San Juan.

Es investigación de Datos Primarios: Debido a que los datos se han extraído de la misma población en estudio.

¹⁹ <http://www.uti.edu.ec/antiguo/index.php/investigacion-por-carreras/item/554-volumen3-cap6.html>

²⁰ <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigaci-n-descriptiva.php>

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 analizarlos²¹.

3.2. Población y muestra

La población es el Fundo San Juan en el distrito de Cayaltí perteneciente al departamento de Lambayeque.

La Muestra es el Fundo San Juan en el distrito de Cayaltí perteneciente al departamento de Lambayeque.

3.3. Hipótesis

Si dimensionamos un sistema híbrido eólico solar entonces será posible el bombeo de agua en el fundo San Juan en el distrito de Cayaltí.

3.4. Variables - Operacionalización

Tal como se muestra en la Tabla N° 5, se identifican las variables y se

X: Variable independiente:

Energía eólica y energía solar.

Y: Variable dependiente:

Demanda de agua.

²¹ <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion37.htm>

Tabla N° 5: Operacionalización de variables

Fuente: Elaboración propia a partir de conceptos.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Variable Independiente: Energía eólica y solar.	<p>La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores²².</p> <p>La Energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).²³</p>	<p>Dimensionar el sistema fotovoltaico.</p> <p>Dimensionar el sistema eólico.</p>	<p>Dimensionar los paneles fotovoltaicos (Wp).</p> <p>Dimensionar el controlador (V/A).</p> <p>Dimensionar el aerogenerador (kW).</p> <p>Dimensionar el inversor.</p> <p>Dimensionar la bomba de agua.</p>
Variable dependiente: Demanda de agua.	<p>Proporcionar el agua que se necesita²⁴.</p>	<p>Cantidad de agua demandada por el fundo San Juan.</p>	<p>Cálculo de la demanda promedio diaria de agua.</p>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

²² <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>

²³ http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm

²⁴ <https://es.thefreedictionary.com/suministrar>

Técnicas

Observación directa

Se realizaron visitas técnicas al lugar donde se desarrolló la investigación, para realizar las observaciones de equipos, la infraestructura y dimensiones que se requieran para establecer la demanda de energía, dimensionamiento.

Análisis de documentos

Se tuvo en cuenta libros, tesis, revistas, etcétera que sean referentes a la investigación.

Entrevista

Se podrá definir que la entrevista consiste en obtención de información oral de parte de una persona (entrevistado) lograda por el entrevistador directamente, en una situación de cara a cara, a veces la información no se transmite en un solo sentido, sino en ambos, por lo tanto, una entrevista es una conversación entre el investigador y una persona que responde a preguntas orientadas a obtener información exigida por los objetivos específicos de un estudio²⁵.

Se entrevistó al dueño de la zona de cultivo con la finalidad de obtener información sobre el número de hectáreas, consumo de combustible, transporte de combustible, periodo de riego, zona de succión del agua.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

²⁵ <http://manuelgalan.blogspot.com/2009/05/la-entrevista-en-investigacion.html>

Tabla N° 6: Técnicas e instrumentos de investigación.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación directa	Cuaderno de apuntes, fichas de campo, fotografías.
Entrevista	Cuaderno y lapicero.
Análisis de contenido	Libros, tesis, revistas, páginas web de internet.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

En las visitas realizadas al fundo San Juan se recopilaron datos de demanda de agua. Los datos se procesaron y analizaron por medios electrónicos, clasificados y sistematizados de acuerdo a las unidades de análisis correspondientes respecto a la variable. Para el procesamiento se utilizó la estadística descriptiva, que nos permitió obtener valores promedio de radiación solar a través de la tabulación de datos que nos permita organizar la información entre los cuales tenemos: tablas y gráficos estadísticos con sus respectivas descripciones e interpretaciones de los resultados. Para el análisis si se está dimensionando los paneles solares, controladores y el dimensionamiento de la bomba, se utilizó en el procesamiento de la información software aplicativos como el Office 2016- (Word, Excel) para la diagramación de barras, columnas y otros.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

Debido a la problemática existente en el fundo San Juan y con la finalidad de reducir los costos por consumo de combustible, mantenimiento de la motobomba y reducir la contaminación del medio ambiente se propone sustituir el sistema actual por un sistema de bombeo de agua que utiliza energía eólica y solar fotovoltaica.

El sistema de bombeo fotovoltaico propuesto a implementar es para el riego de 3 hectáreas de cultivo de maíz.

Para el sistema de bombeo eólico solar fotovoltaico se propone el siguiente equipamiento:

Aerogenerador: Que tenga una velocidad de arranque como mínimo de 2 m/s, de una marca recomendada y potencia comercial.

Generador fotovoltaico Constituido por un conjunto de paneles fotovoltaicos los cuales serán de una marca reconocida y potencia comercializable con la suficiente potencia para accionar la bomba.

Bomba: Se propone una bomba superficial con la suficiente potencia para bombear el agua necesaria para las 3 hectáreas de maíz.

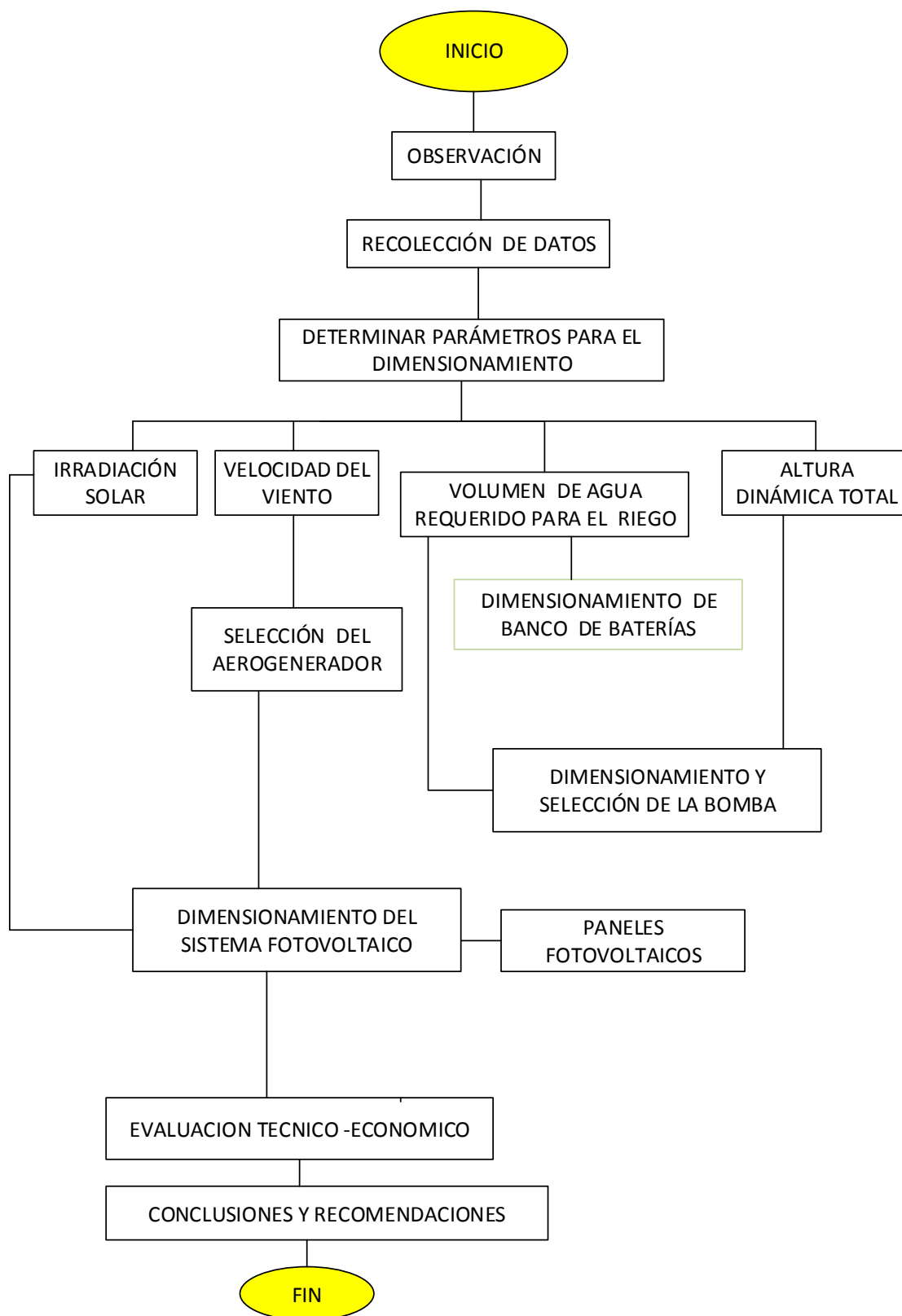


Figura N° 22: Pasos para desarrollar la propuesta²⁶.

²⁶ Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Evaluación de la energía solar disponible

La irradiación solar promedio en el fundo San Juan en el distrito de Cayalti se encuentra ubicado en las coordenadas X: 662200; Y=9239400

Utilizando un conversor de coordenadas lo pasamos a latitud y longitud, lo obtenemos de las páginas y software que se encuentran a continuación.

Convertor de coordenadas

Las coordenadas geográficas se escribirán en grados decimales. Los números negativos indican longitudes de Oeste y latitudes de Sur. Las coordenadas UTM serán mostradas y desplegadas en metros. Modelo de elipsoide utilizado es el WGS84.

Geográficas		UTM	
Longitud:	-79.53200846996957	X:	662200
Latitud:	-6.878803900301612	Y:	9239400
		Zona:	17
		Hemisferio:	<input type="radio"/> N <input checked="" type="radio"/> S

Figura N° 23: conversor de coordenadas²⁷.

a) Radiación solar según la página web de la NASA

La ubicación que se ha obtenido del asentamiento humano en términos de latitud y longitud es²⁸:

Latitud: -6.87880390030

Longitud: -79.53200846996

²⁷ <http://entomologia.net/conversor.htm>

²⁸ Elaboración propia a partir de la Figura N° 24



Multiple Data Access Options

Figura N° 24: Búsqueda de la página de la NASA²⁹

Seleccionamos la pestaña DATA ACCESS

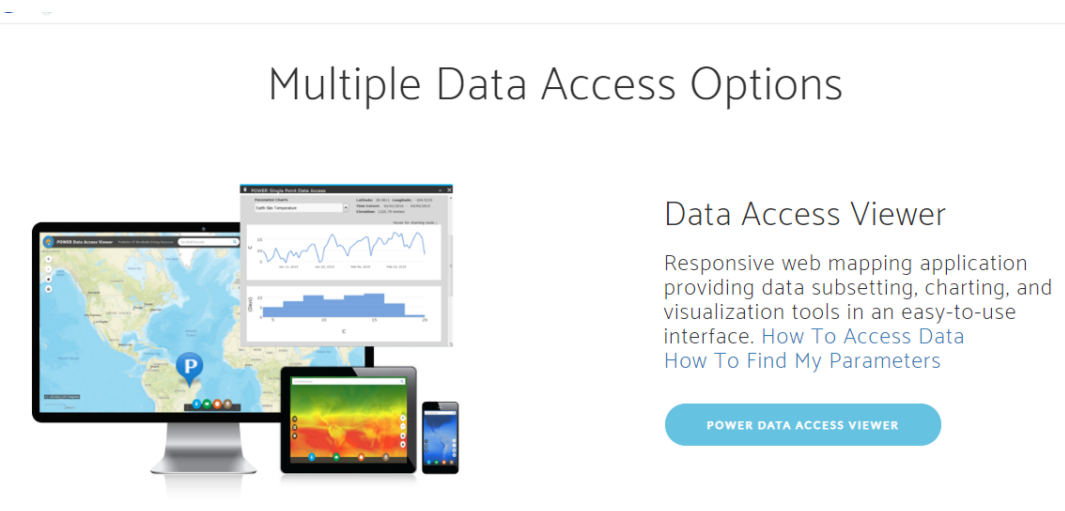


Figura N° 25: Acceso a la data de la NASA³⁰

Hacemos clic en POWER DATA ACCESS VIEWER

²⁹ <https://power.larc.nasa.gov/>

³⁰ <https://power.larc.nasa.gov/>

POWER Single Point Data Access

1. Choose a User Community
SSE-Renewable Energy

2. Choose a Temporal Average
☒ Daily
 ☐ Interannual
 ☐ Climatology

3. Enter Lat/Lon or Add a Point to Map

Latitude (-90 to +90 decimal degrees)

Clear Longitude (-180 to +180 decimal degrees)

4. Select Time Extent

Figura N° 26: ingreso de los datos de latitud y longitud

Ingresamos los valores de latitud y longitud

Tabla N° 7: Irradiación solar³¹ en el fundo San Juan -Cayalti

Mes	Irradiación solar kWh/m2/día
Enero	5,71
Febrero	5,16
Marzo	5,57
Abril	5,49
Mayo	5,28
Junio	4,94
Julio	4,89
Agosto	5,12
Septiembre	5,47
Octubre	5,71
Noviembre	5,95
Diciembre	5,95

³¹https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_06d88S_79d53W_b739394a.txt

b) Radiación solar según el atlas solar del Perú

Según el atlas solar del Perú³² la irradiación solar esta entre 5 kWh/m²/día y 6 kWh/m²/día, con un promedio de 5,5 kWh/m²/día.

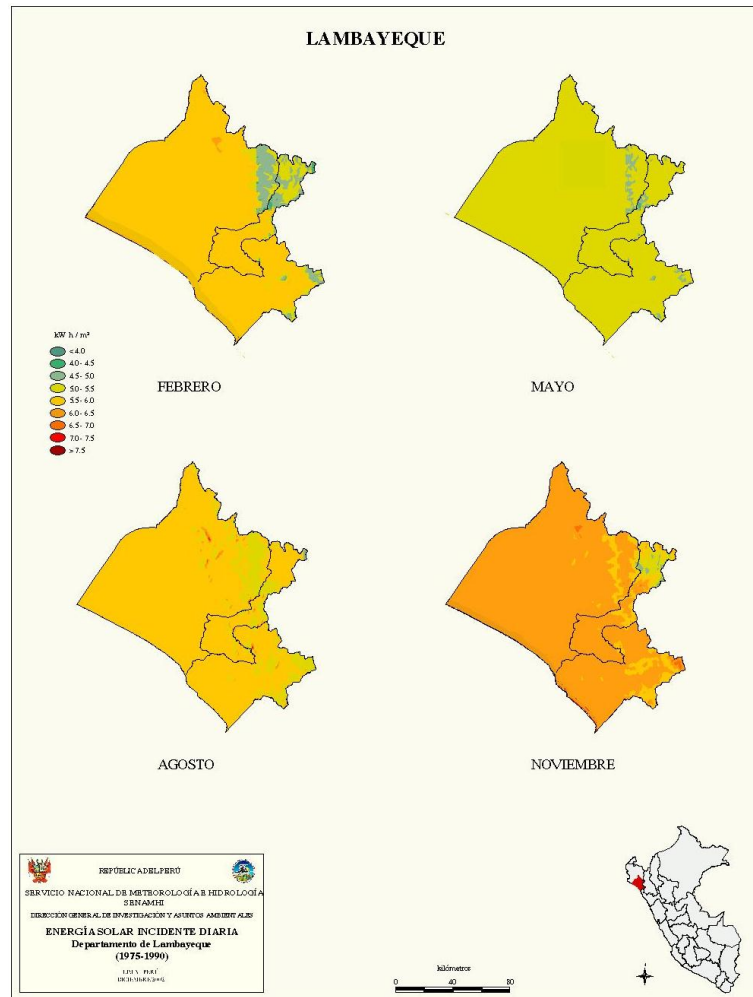


Figura N° 27: Irradiación solar en Lambayeque³³

5.2. Demanda de agua promedio diaria

Para determinar la cantidad de agua necesaria para 3 hectáreas de maíz utilizaremos el siguiente procedimiento de la figura N° 30 y la ecuaciones (5);(6); (7); (8);(9); (10).

³² <http://deltavolt.pe/phocadownload/Lambayeque.jpg>

³³ <https://deltavolt.pe/phocadownload/Lambayeque.jpg>

Los siguientes datos:

Latitud: -6.87880390030

Altura (m.s.n.) = 100 msnm

Se consultó datos de la estación meteorológica convencional Cayaltí.

DIRECCION ZONAL 2 LAMBAYEQUE

ESTACION: CAYALTI
CATEGORIA: CO

LAT.: 06° 53' 53,7"
LONG. 79° 33' 33, 7"
ALT.: 102,3 msnm

DPTO: LAMBAYEQUE
PROV: CHICLAYO
DIST: CAYALTI

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2018	25.6	26.5	26.1	25.3	22.8	20.1	20.3	20.2	20.4	21.6	23.3	24.4

**HUMEDAD RELATIVA (%)
MEDIA MENSUAL**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2018	74	72	74	75	79	84	81	79	79	78	74	75

**PRECIPITACION (mm)
Total Mensual**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2018	10.9	4.3	3.5	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	15.2

Figura N° 28: Datos de la estación meteorología convencional Cayaltí³⁴.

³⁴ Estación meteorológica Cayaltí (ANEXO 02)

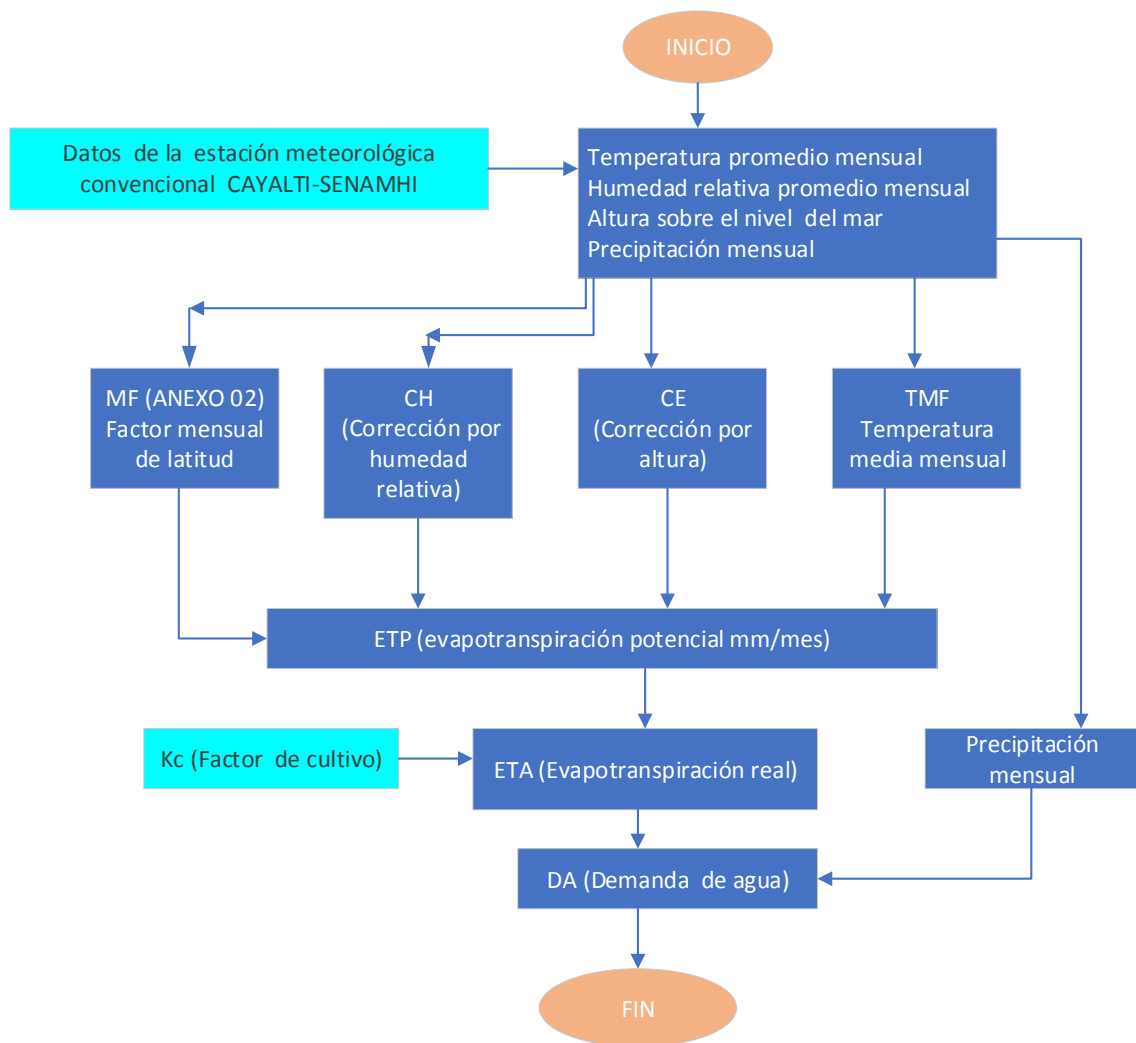


Figura N° 29: Procedimiento para calcular la demanda de agua³⁵.

Apoyados de una hoja de cálculo en Excel calcularemos la demanda de agua para cada mes siguiendo el procedimiento y las ecuaciones los resultados se muestran a continuación.

Con respecto al factor del cultivo utilizaremos el ANEXO 03 de donde se obtiene un valor de 1,2 para el Maíz.

³⁵ Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Demanda de agua diaria para 3 hectáreas de cultivo de maíz³⁶.

	Datos / mes											
Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°F)	78,08	79,7	78,98	77,54	73,04	68,18	68,54	68,36	68,72	70,88	73,94	75,92
Humedad relativa	74	72	74	75	79	84	81	79	79	78	74	75
Factor mensual de latitud (MF)	2,447	2,205	2,365	2,117	1,93	1,82	1,976	2,103	2,226	2,422	2,371	2,442
Precipitación (mm/mes)	10,9	4,3	3,5	8,5	0	0	0	0	0	3,1	0	15,2
Irradiación solar (kWh/m2/día)	5,71	5,16	5,57	5,49	5,28	4,94	4,89	5,12	5,47	5,71	5,95	5,95
RESULTADOS												
DÍAS del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MF	2,447	2,205	2,365	2,117	1,93	1,82	1,976	2,103	2,226	2,422	2,371	2,442
TMF	78,08	79,7	78,98	77,54	73,04	68,18	68,54	68,36	68,72	70,88	73,94	75,92
CH	0,846437	0,878389	0,846437	0,83	0,760708	0,664	0,723577	0,760708	0,76070757	0,778609	0,84643724	0,83
CE	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002
ETP	162,05	154,68	158,42	136,52	107,45	82,56	98,19	109,58	116,6	133,93	148,69	154,19
ETA	194,46	185,62	190,1	163,82	128,94	99,07	117,83	131,5	139,92	160,72	178,43	185,03
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA(mm/mes)	194,46	185,62	190,1	163,82	128,94	99,07	117,83	131,5	139,92	160,72	178,43	185,03
DA(mm/día)	6,27	6,63	6,13	5,46	4,16	3,3	3,8	4,24	4,66	5,18	5,95	5,97
factor de conversión :0,1157	0,725	0,767	0,709	0,632	0,481	0,382	0,44	0,491	0,539	0,599	0,688	0,691
DA(L/s) para las 3 hectáreas	2,175	2,301	2,127	1,896	1,443	1,146	1,32	1,473	1,617	1,797	2,064	2,073
Consumo para riego (m3/día)	234,9	248,51	229,72	204,77	155,84	123,77	142,56	159,08	174,64	194,08	222,91	223,88

³⁶ Elaboración propia a partir de los datos meteorológicos

Tabla N° 9: eficiencia según el tipo de riego³⁷.

Eficiencia de aplicación (Ea) esperable con distintos métodos de riego	
Método de riego	Eficiencia de aplicación (%)
Riego por superficie	55 – 90 (1)
Riego por aspersión	65 – 90
Riego localizado	75 – 90 (2)

Se ha considerado una eficiencia de riego del 80 % ya que según la Tabla N° 9 se encuentra dentro del intervalo.

De la tabla N° 10 podemos conocer los requerimientos de agua para cada uno de los 12 meses.

Tabla N° 10: Requerimiento de agua por mes³⁸

<i>mes</i>	Requerimiento de agua (m3/día)
Enero	234,90
Febrero	248,51
Marzo	229,72
Abril	204,77
Mayo	155,84
Junio	123,77
Julio	142,56
Agosto	159,08
Septiembre	174,64
Octubre	194,08
Noviembre	222,91
Diciembre	223,88

³⁷ https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf

³⁸ Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla N° 10

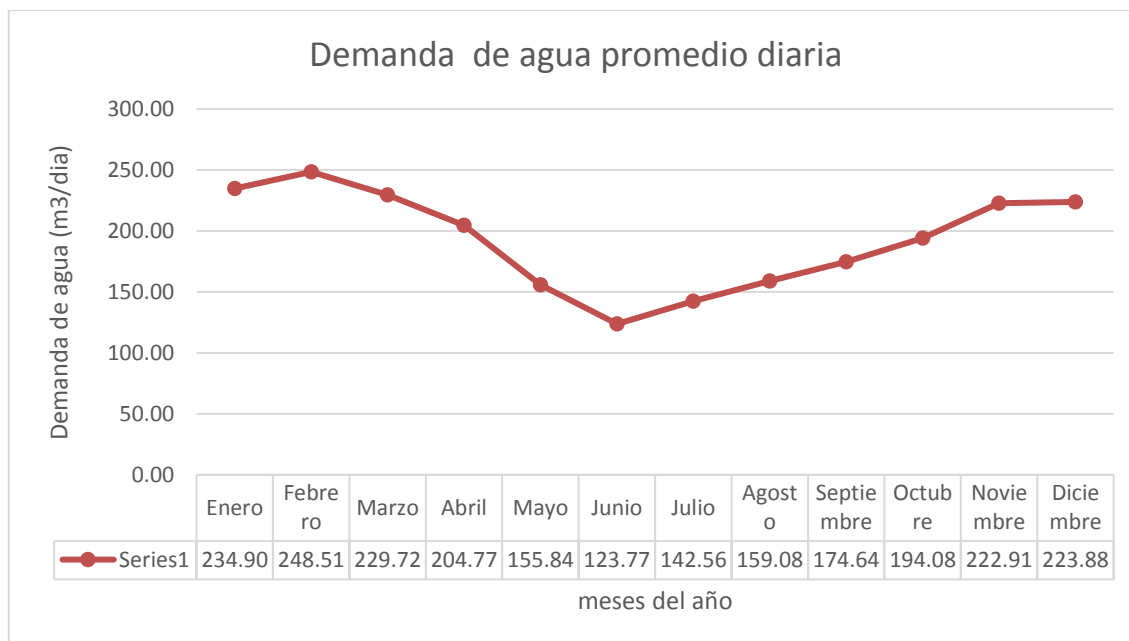


Figura N° 30: demanda de agua promedio mensual³⁹.

De la figura N° 31 se obtiene que la cantidad de agua promedio diaria es mayor para el mes de febrero con un valor de 248,51 m³/día.

5.3. Sistema de bombeo

5.3.1. Cálculo de la carga dinámica total

De los datos recopilados de la entrevista en el encargado del riego y verificación en campo se obtuvo los siguientes datos:

Abatimiento: 1,0 m

La carga estática (CE) se calcula con la adición de las distancias

CE = Nivel estático + Abatimiento

CE = (6,0 m + 4,0 m) + 1,0 = 11,0 m

³⁹ Fuente: Elaboración propia

La carga dinámica (CD) se puede obtener por valor por omisión⁴⁰.

2 % de la longitud total de tubería, entonces tenemos que es: $CD = 0,02 \times L$

$$CD = 0,02 \times (11+20)$$

$$CD = 0,02 \times 31 \text{ m} = 0,62 \text{ m}$$

Entonces,

$$CDT = CE + CD = 11 \text{ m} + 0,62 \text{ m} = 11,62 \text{ m}$$

Consideraremos 12 m.

5.3.2. Dimensionamiento de la bomba superficial

Para calcular la energía requerida por la bomba y teniendo los datos del volumen y de la carga dinámica utilizando la ecuación:

$$E_{requerida} = \frac{V_{olumen} H}{367 n_{bomba}} \dots (14)$$

Rendimiento de la bomba en este punto de funcionamiento (η):

0,50

Sustituyendo valores obtenemos lo siguiente:

$$P_{bomba} = \frac{\gamma Q_{promedio} H_{Dinamica\ total}}{n_b} \dots (15)$$

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

Tabla N° 11: Energía requerida para la bomba⁴¹

<i>mes</i>	Requerimiento de agua (m3/día)	Carga dinámica total(m)	caudal (m3/h)	caudal (l/s)	Energía requerida (kWh/día)
Enero	234,90	12	39,15	10,88	15,36
Febrero	248,51	12	41,42	11,51	16,25
Marzo	229,72	12	38,29	10,64	15,02
Abril	204,77	12	34,13	9,48	13,39
Mayo	155,84	12	25,97	7,21	10,19
Junio	123,77	12	20,63	5,73	8,09
Julio	142,56	12	23,76	6,60	9,32
Agosto	159,08	12	26,51	7,36	10,40
Septiembre	174,64	12	29,11	8,09	11,42
Octubre	194,08	12	32,35	8,99	12,69
Noviembre	222,91	12	37,15	10,32	14,58
Diciembre	223,88	12	37,31	10,36	14,64

De la Tabla N°11 se observa que el mes de febrero es el mes de mayor requerimiento hídrico con una cantidad de energía de 16,25 kWh y ahora teniendo en cuenta las pérdidas por efecto Joule, en el controlador. La energía que deberá suministrar el sistema híbrido debe ser mayor y por ello consideraremos la siguiente ecuación:

$$E_{sistema} = E_{Carga}/F \dots (16)$$

Donde F

$$F = 1 - \left[\frac{f_a x N}{p_d} \right] - f_b - f_i - f_j \dots (17)$$

Siendo los factores utilizados en la fórmula 17 los siguientes:

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

f_a : Fracción de energía perdida por autodescarga =0,005

⁴¹ Fuente: Elaboración propia

f_b : Factor de perdidas debido al a eficiencia de la batería=0,05

f_i : Factor de perdidas debido a la eficiencia del inversor=0,13

f_j : Factor de perdidas global debido al calentamiento conexiones, etc.=0,05

P_d : Profundidad de descarga máxima de las baterías=0,8

N : número de días de autonomía

Reemplazando en (17) obtenemos que $F = 0,7575 \approx 0,76$ por lo que la energía que debe suministrar el sistema híbrido es de 21,38 kWh.

5.3.3. Sistema eólico

Con la finalidad de suministrar energía eléctrica por medio de un sistema híbrido se propone el uso del aerogenerador ZONHAN DE 2 kW.

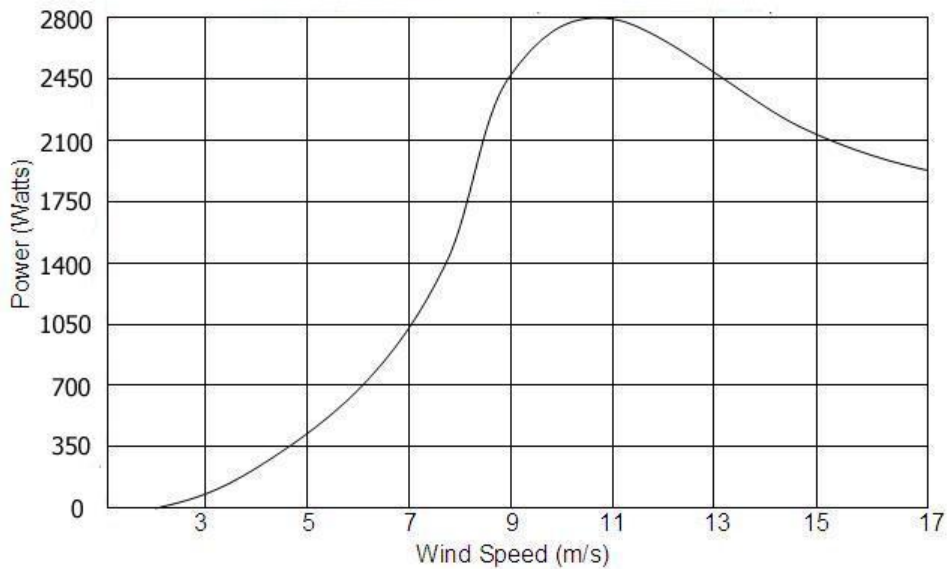


Figura N° 31: Curva de potencia del aerogenerador⁴² ZONHAN ZN2.0

⁴² <https://www.proviento.com.pe/aerogeneradores.html>

De la estación meteorológica de Lambayeque se ha obtenido los datos de la velocidad del viento de los meses de junio y agosto meses en los que la velocidad del viento es mínima y máxima respectivamente (ANEXO 05).

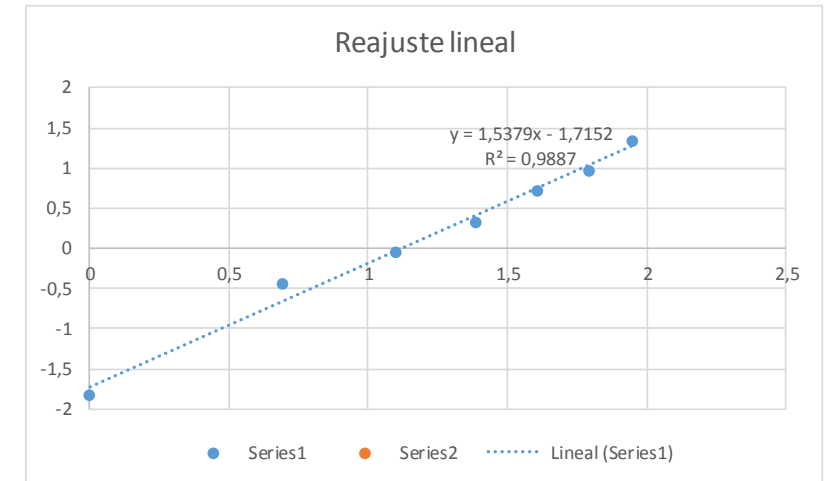
Elaboramos la tabla de distribución de frecuencia acumulada y determinamos los parámetros "k" y "C" obteniendo los siguientes valores $k=1,5379$ y $C=3,0504$.

Tabla N° 12: Frecuencia de la velocidad del viento⁴³

Velocidad de viento (m/s)	Frecuencia de velocidad (h)	Frecuencia acumulada (h)	Frecuencia Relativa Acumulada (h)
1	108	108	0,1500
2	236	344	0,4778
3	101	445	0,6181
4	98	543	0,7542
5	87	630	0,8750
6	38	668	0,9278
7	37	705	0,9792
8	10	715	0,9931
9	5	720	1,0000
10	0	720	1,0000

720

velocidad	ln(v)	ln(ln(1/1-f(V)))
1	0	-1,816960795
2	0,69315	-0,431302946
3	1,09861	-0,038241873
4	1,38629	0,338685129
5	1,60944	0,732099368
6	1,79176	0,966225952
7	1,94591	1,353564798



⁴³ Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica

Tabla N° 13: Energía suministrada por el aerogenerador ZONHAN de 2 kW.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]}$$

Energía producida por el aerogenerador			
Vel.(m/s)	Potencia(w)	horas(h)	Energía(Wh)
0	0	166.42	0
1	0	171.55	0
2	0	135.74	0
3	80	92.12	7369.54708
4	230	55.81	12836.9878
5	450	30.82	13867.5306
6	600	15.70	9421.49052
7	1050	7.45	7819.69819
8	1500	3.31	4962.43927
9	1450	1.38	2005.57318
10	1750	0.55	956.112938
Total de energía			59239.3795

ENERGIA TOTAL DIARIA (Wh)

1974.64598

Wh

Fuente. Elaborado a partir de la curva de potencia del aerogenerador.

De la Tabla N° 13 obtenemos que la energía que entregada por el aerogenerador en el mes crítico es de 1 974,64 Wh es decir el 9,20 % de la energía.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]}$$

Energía producida por el aerogenerador			
Vel.(m/s)	Potencia(w)	horas(h)	Energía(Wh)
0	0	3.85	0
1	0	24.76	0
2	0	69.52	0
3	80	128.89	10310.99
4	230	171.61	39469.305
5	450	162.81	73262.685
6	600	104.81	62888.4
7	1050	42.56	44689.684
8	1500	9.96	14937.962
9	1450	1.21	1754.1418
10	1750	0.07	118.88083
Total de energía			247432.05

ENERGIA TOTAL DIARIA (Wh)

8247.7349

Wh

Para el mes de noviembre siguiendo el mismo procedimiento anterior la contribución del aerogenerador es de 8 247,74 Wh es decir 38,6 % de la energía total.

Balance de energía

La energía que debe suministrar el conjunto aerogenerador y generador fotovoltaico es de 21 380 Wh y el aerogenerador suministrara 1974,65 Wh por lo tanto el generador fotovoltaico debe suministrar 19 405,35 Wh.

5.3.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Primeramente, debemos calcular la potencia del generador fotovoltaico teniendo en cuenta la energía eléctrica proyectada, las horas solar pico.

5.3.4.1. Generador fotovoltaico

$$HSP = 4,89 h$$

Obtenemos:

$$Potencia\ del\ generador\ fotovoltaico(kWp) = \frac{19,40535}{4,89} = 3,968\ kWp$$

De las marcas recomendadas de paneles fotovoltaicos se realizó una cotización con la finalidad de determinar la potencia del módulo fotovoltaico a utilizar.

Se propone paneles fotovoltaicos SIMAX de 300 Wp (ANEXO 07),

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos usaremos la ecuación

$$\text{siguiente: } Numero\ de\ paneles(N_{paneles}) = \frac{19\ 405,35\ (\frac{Wh}{dia})}{4,89 \times 300} = 13,228 \approx 14$$

Se usarán 14 paneles fotovoltaicos SIMAX de 300 Wp

La tensión del sistema en CD se considerará 48 V; entonces el número de paneles en serie será de:

$$N_{paneles-serie} = 48/24 = 2$$

El número de ramas de módulos fotovoltaicos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_{ramas} = 14/2 = 7$$

5.3.4.2. Dimensionamiento del banco de baterías

La capacidad del banco de baterías se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{D\ max} \times V_T) \dots (18)$$

Donde:

C_T = Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

$N_{autonomia}$ = Número de días de autonomía =2.

P_D = 0,8.

V_T = 48 V.

E_{elecT} = 19405,35 Wh.

$$C_T = (2 \times 19\ 405,35) / (0,8 \times 48)$$

$$C_T = 1\ 010,69\ Ah$$

Proponemos el uso de baterías ROLLS de 503 Ah (ANEXO 08) de 12 V,

$$N_{baterias-serie.} = 48/12$$

$$N_{baterias-serie.} = 4\ baterías$$

$$N_{P\ bat.} = 1\ 010,69 / 503$$

$$N_{P\ bat.} = 2.00$$

La cantidad de baterías es de:

$$N_{baterías} = 4 \times 2 = 8$$

Se usarán 8 baterías ROLLS de 503 A.h

5.3.4.3. Dimensionamiento del controlador fotovoltaico

En el dimensionamiento del controlador, utilizaremos la siguiente ecuación

$$I_{\text{mínimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{P_{mf}} \dots (19)$$

$$I_{\text{mínimo del regular}} = 1,25 \times 8,93 \times 7 = 78,14 \text{ A}$$

Se usará 01 controlador VICTRON ENERGY de 85 A

5.3.4.4. Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor se considerará la siguiente ecuación.

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{\text{Máxima demanda}}{\text{Rendimiento del inversor}} \dots (20)$$

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{2,98 \text{ kW}}{0,95} = 3,14 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se trabajará con un inversor de la marca VICTRON ENERGY de 5 kW (ANEXO 10)



Figura N° 32: Inversor⁴⁴ VICTRON ENERGY de 5 kW

5.3.4.5. Angulo óptimo de inclinación

Según (Agustin Castejon, pág. 13) explica lo siguiente:

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos 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:

⁴⁴ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-3003019.pdf>

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \dots (21)$$

donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación óptimo.

$|\varphi|$: Latitud del lugar sin signo.

La fórmula es válida para aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar a lo largo del año.

Entonces en base a la ecuación anterior

Latitud: -6.87880390030

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,8788^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 8,45^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de $8,45^\circ$ y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día. En esta investigación consideraremos una elevación de 10° por estar más cerca del óptimo y al mismo tiempo evitar la acumulación de humedad y polvo.

5.3.5. Presupuesto referencial del sistema híbrido eólico solar para bombeo de agua

Tabla N° 14: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema de bombeo híbrido eólico-solar⁴⁵

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 aerogenerador ZONHAN DE 2 kW, incluido controlador eólico	8 249,37	7 905,36
01 Torre de 12 m, incluyendo accesorios	7 457,34	7 457,34
14 paneles solares SIMAX 300 Wp	800,00	11 200,00
08 Baterías ROLLS de 503 Ah	3 425,00	23 220,34
01 inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	8 789,62	7 448,83
estructura para 14 paneles solares	3 685,68	3 685,68
01 controlador 150/85	4 214,29	3 571,43
01 electrobomba de 4Hp FORAS	2 800,00	2 372,88
Accesorios	500,00	500,00
Total, del Suministro		67 361,86

⁴⁵ Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla N° 15: costo total de la propuesta

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL, S/
1	Suministro de materiales	67 361,86
2	Transporte de materiales	1 347,24
3	Montaje electromecánico	3 368,09
4	Costo directo	72 077,19
5	Gastos generales	1 441,54
6	Utilidades	3 770,29
7	Total, sin IGV	77 289,03
8	IGV	13 912,02
6	Costo Total	91 201,05

Fuente: Elaboración propia del autor.

5.4. Análisis técnico económico

5.4.1. Sistema bombeo de agua con energía convencional

De la observación realizada en el fundo San Juan se tiene que se está usando una motobomba de 18 Hp.

5.4.1.1. Costo del sistema de bombeo convencional

De los datos recopilados del sistema de bombeo tenemos lo siguiente:

9 horas de riego por hectárea.

Para esas 9 h se consume 6 galones de combustible

Costo del galón de combustibles es de S/. 12

El riego se hace cada 5 días

a) Calculemos el costo de combustible para 3 ha

$$\text{Numero de riegos al año} = \frac{365}{5} = 73$$

$$\text{Costo del combustible anual por ha} = (72) \times (73) = S/. 5\,256$$

$$\text{Costo de combustible en las 3 ha} = 3 \times 5\,256 = S/. 15\,768$$

b) Costo del transporte del combustible

El transporte del combustible de los 18 galones de combustible es de S/.20

$$\text{Costo del transporte anual} = \text{Costo por 18 galones} \times 73$$

$$\text{Costo del transporte anual} = 20 \times 73$$

$$\text{Costo del transporte anual} = S/. 1\,460$$

c) Costo del mantenimiento

De la información obtenida el costo anual es de S/. 1 200

d) Costo total anual con el sistema convencional

Consiste en sumar los ítems (a), (b) y (c)

$$\text{Costo total anual} = 15\,768 + 1\,460 + 1\,200 = S/. 18\,428$$

5.4.1.2. Flujo de caja proyectado

El flujo de caja se considerará un horizonte de 20 años. (debido a que los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil garantizada de 20 a 25 años).

Estructura del flujo de caja

Los componentes del flujo de caja:

Los egresos: Estará dado por la inversión inicial que presenta el sistema de bombeo de agua híbrido la depreciación de equipos y mantenimiento. Además, que la bomba tiene una vida útil de 10 años entonces se considerará en el año 10 la compra de otra bomba y de las baterías.

Los ingresos: Lo que se dejaría de gastar en el sistema de bombeo con motobomba es decir S/. 18 428 anual.

Para la evaluación económica se considerará una tasa de 12%.

Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla N° 15

$VAN = S/. 8\,834,18 > 0$ por lo que la propuesta es rentable.

$TIR = 14 \% > 12 \%$

De los dos resultados anteriores se observa que la propuesta es viable.

Tabla N° 16: Flujo de caja

		Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07	Año 08
	Inversion inicial	91 201,05								
INGRESOS	Fondos generados		S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00
EGRESOS	Anualidad del prestamo									
	Mantenimiento		120	120	120	120	120	120	120	120
	Depreciacion de equipos		3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00
	Panel solar		560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00
	baterias		2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00
	Bomba solar		280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00
	Flujo de efectivo Neto	-91201,05	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00

VAN: S/. 8 834,18

TIR: 14%

RECUPERACION DE LA INVERSION 6 años 3 meses

		Año 09	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
	Inversion inicial												
INGRESOS	Fondos generados	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00	S/. 18 428,00
	Mantenimiento	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Depreciacion de equipos	3580,00	31260,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00	3580,00
	Panel solar	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00	560,00
	baterias	2740,00	27400,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00	2740,00
	Bomba solar	280,00	3300,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00
	Flujo de efectivo Neto	14728,00	-16252,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00	14728,00

Fuente: Elaboración propia en base a datos

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- a) La demanda de agua en el fundo San Juan para el riego es variable de acuerdo al mes tal como se muestra en la tabla N° 10 y de donde el mes de febrero es el que requiere mayor cantidad de agua con 248,51 m³/día. Y en el mes de junio el requerimiento mínimo de agua es de 123,77 m³/día.
- b) Se obtuvo los datos de irradiación solar de la NASA de donde el menor valor es 4,89 kWh/m²/día. Con respecto de la velocidad del viento se obtuvo los datos horarios para el mes de junio que es el de menor velocidad de viento con un valor promedio de 2,74 m/s y para el mes de noviembre que es el mes con mayor velocidad con un valor promedio de 5,26 m/s. A partir de los cálculos se pudo determinar que para el mes de junio la contribución de energía eólica es de 9,20 % mientras que para el mes de noviembre es de 38,6 % de la energía total requerida por el sistema de bombeo.
- c) Se dimensionó el sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua seleccionando 01 aerogenerador ZONHAN de 2 kW, 14 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX, 08 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 controlador Blue Solar 150/85 y además un inversor VICTRON ENERGY de 5 kW.
- d) El costo total del sistema de bombeo híbrido eólico solar es de S/. 91 201,05. Se realizó el análisis económico con una tasa de 12 % y un horizonte de 20 años con el sistema convencional obteniéndose un VAN= S/. 8 834,18 y la TIR de 14 % por lo que la propuesta es viable.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.
- 2) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 3) Alonso Alabella, M., & Chenlo Romero, F. (s.f.). *Sistemas de bombeo fotovoltaico*.
- 4) Arias, J. J. (2009). *Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona*. Lima.
- 5) Cabrera peña, I., & Fermin Montiel, R. (2003). *Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua*. Mexico.
- 6) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 7) Celemin Cuellar, M. A. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio de Ortega-Tolima*. Colombia.
- 8) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 9) Energia Innovadora. (2017). *Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
- 10) Escosa Gonzales, J. L., & German Bes, L. A. (2015). *Guia tecnica para la utilizacion de la energia solar fotovoltaica en instalaciones de abastecimiento de agua potable*. Zaragoza.
- 11) Gimenes, J. M. (2010). *Energia solar eolico fotovoltaico*.
- 12) Heras Sanchez, M. A. (2017). *Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC*. Ecuador.

- 13)Hernandez Quijaite, L. E. (s.f.). *Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica*. Ica.
- 14)Indeco. (s.f.). *Catalogo de cables NYY -DUPLEX*.
- 15)Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 16)Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.
- 17)Lara Yevenes, F. A. (2007). *Diseño de un sistema de riego por medio de energia solar, traves de paneles FV*. Chile.
- 18)Llauce Chozo , A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*”. Lambayeque.
- 19)Muñoz Anticon, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 20)Natael Elenes, F. (2012). *Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora*. Sonora.
- 21)Orbezo, C., & Aribilca, R. (2010). *Energia solar fotovoltaica*.
- 22)Paredes Rubio, A. R. (2001). *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*. Mexico.
- 23)SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 24)solar, G. d. (2016). *Guia de la energia solar*. 2006.
- 25)Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. DATOS METEOROLÓGICOS DEL SENAMHI.

ANEXO N°02. FACTOR MENSUAL DE LATITUD.

ANEXO N°03. FACTOR DE CULTIVO.

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR ZONHAN DE 2 kW.

ANEXO N°05. VELOCIDADES DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LAMBAYEQUE.

ANEXO N°06. CATALOGO DE LA ELECTROBOMBA FORAS MONOFÁSICO DE 4 HP.

ANEXO N°07. PANELES SOLARES SIMAX DE 300 Wp.

ANEXO N°08. BATERÍAS ROLLS DE 503 Ah.

ANEXO N°09. CONTROLADOR 150/85.

ANEXO N°10. INVERSOR VICTRON ENERGY DE 5 kW.

ANEXO N°11. SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA HÍBRIDO.

ANEXO N° 12. PANEL FOTOGRÁFICO.