



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE  
AGUA PARA EL CASERÍO CHOCHOR EN MÓRROPE  
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

**Autor:**

**Bach. BALDERA CHAPOÑAN NILCS VICENTE**

**Asesor:**

**Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Octubre del 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE  
AGUA PARA EL CASERÍO CHOCHOR EN MÓRROPE  
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

**Autor:**

**Bach. BALDERA CHAPOÑAN NILCS VICENTE**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE: M.Sc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA**

**SECRETARIO: ING. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ**

**MIEMBRO: ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO**

**ASESOR: Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA**

**Lambayeque – Perú**

**Octubre del 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**TITULO**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA EL CASERÍO CHOCHOR EN MÓRROPE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

**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.**

**AUTOR: Bach. BALDERA CHAPOÑAN NILCS VICENTE**

---

PRESIDENTE

---

SECRETARIO

---

VOCAL

---

ASESOR

Lambayeque – Perú

Octubre del 2018

## **DEDICATORIA**

***A mis Padres: Vicente y Felícita***

*Por el apoyo y esfuerzo que día a día  
me dedicaron para llegar a concretar  
uno de mis objetivos.*

***A mis Hermanos: Liliana, Miguel,  
Leydi, Magaly, Erwin***

*Quienes siempre me brindaron su  
invaluable amor, cariño, confianza,  
apoyo, ayuda y comprensión.*

***A mi Esposa Betty e Hijos: Yury,  
Evenyn Aroa y Nilcs Ceferino Junior***

*Que son mi motor y motivo para seguir  
esforzándome y conseguir las cosas  
que me he propuesto.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios Nuestro Señor, porque gracias a él se realizan todas las cosas tan maravillosas en este mundo; por bendecirme con lo más hermoso que tengo en esta vida que son mi familia, Esposa e Hijos.

A mis Padres por estar siempre conmigo brindándome su apoyo incondicional.

A los Profesores y Compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de mi alma mater, Por su valioso tiempo en compartir sus experiencias y conocimiento; en especial al Mag. Carlos Javier Cotrina Saavedra por creer en Mí, por sus consejos y los momentos gratos que pasamos en las asesorías y dudas presentadas en la elaboración de este examen de suficiencia profesional.

## RESUMEN

El objetivo general del presente examen de suficiencia fue de dimensionar un sistema de bombeo de agua para el caserío Chochor en Mórrope utilizando energía solar fotovoltaica, con la finalidad de solucionar el problema de falta de agua. El tipo de investigación es aplicada, descriptiva y de datos primarios.

Se determinó que la demanda de agua es de 9 750 L /día, considerando los 64 habitantes proyectadas y animales. La radiación solar promedio mensual según el atlas del SENAMHI es de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día, del software SOLARIUS PLUS con un valor mínimo de 4,55 kWh/m<sup>2</sup>/día y del software METEONORM con un valor mínimo de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>/día se consideró de las tres fuentes el menor valor de radiación solar 4,55 kWh/m<sup>2</sup>/día para el cálculo del generador fotovoltaico. La Bomba sumergible **LORENTZ PS2-600 HR-14** incluido controlador, cuyos datos técnicos se encuentran en el ANEXO 01; 04 paneles solares de la marca SIMAX de 190 Wp. Se presupuestó el sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica llegando a un total de S/. 30 955,61

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

## ABSTRACT

The general objective of the present sufficiency examination was to design a water pumping system for the Chochor hamlet in Mórrope using photovoltaic solar energy, in order to solve the problem of lack of water. The type of research is applied, descriptive and primary data.

It was determined that the water demand is 9 750 L / day, considering the 64 projected inhabitants and animals. The average monthly solar radiation according to the SENAMHI atlas is 4,75 kWh / m<sup>2</sup> / day, from the SOLARIUS PLUS software with a minimum value of 4,55 kWh / m<sup>2</sup> / day and from the METEONORM software with a minimum value of 4, 87 kWh / m<sup>2</sup> / day, the lowest value of solar radiation 4,55 kWh / m<sup>2</sup> / day for the calculation of the photovoltaic generator was considered from the three sources. The LORENTZ PS2-600 HR-14 submersible pump included controller, whose technical data is in ANNEX 01; 04 solar panels of the brand SIMAX of 190 Wp. The water pumping system with photovoltaic solar energy was estimated, reaching a total of S /. 30 955,61

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

## 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. Problema de investigación .....	2
1.2. Realidad problemática .....	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Delimitación de la investigación .....	4
1.4.1. Delimitación espacial .....	4
1.4.2. Delimitación temporal .....	7
1.5. Justificación e importancia de la investigación .....	8
1.6. Limitaciones de la investigación .....	9
1.7. Objetivos.....	9
1.7.1. Objetivo General .....	9
1.7.2. Objetivo Específicos .....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Antecedentes de estudios .....	10
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	16
2.2.1. Radiación solar .....	16
2.2.2. Bombeo solar fotovoltaico .....	29
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada. ....	65
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	70
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	70
3.2. Población y muestra .....	71
3.3. Hipótesis .....	72
<b>3.4. Variables - Operacionalización</b> .....	<b>72</b>
<b>3.5. Métodos y técnicas de investigación</b> .....	<b>74</b>



3.6. Descripción de los instrumentos utilizados .....	75
3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos .....	76
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	77
4.1. Propuesta de la investigación .....	77
4.1.1. Equipamiento de la propuesta .....	78
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	80
5.1. Evaluación de la energía solar disponible .....	80
5.2. Población actual y proyección para el caserío Chochor en Mórrope. ....	84
5.3. Requerimientos del sistema de bombeo .....	87
5.3.1. Cálculo de la demanda de agua .....	87
5.3.2. Carga dinámica total .....	89
5.3.3. Cálculo del caudal .....	90
5.3.4. Cálculo de la potencia de la bomba sumergible .....	90
5.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....	93
5.3.6. Tanque de almacenamiento .....	104
5.3.7. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico para bombeo de agua .....	105
CAPITULO VI: CONCLUSIONES .....	107
6.1. Conclusiones .....	107
BIBLIOGRAFÍA .....	108
ANEXOS.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante.	25
Tabla N° 2: valores de la constante K usando la fórmula de Maning .....	37
Tabla N° 3: Comparación entre una bomba que usa combustible con una bomba solar .....	43
Tabla N° 4: Clasificación de las celdas o células solares .....	50
Tabla N° 5: Principales características de las bombas fotovoltaicas .....	62
Tabla N° 6: Operacionalización de variables .....	73
Tabla N° 7: Técnicas e instrumentos.....	75
Tabla N° 8: Radiación solar mensual según software METEONORM 7.2 .....	81
Tabla N° 9: Radiación solar promedio diaria .....	82
Tabla N° 10: Radiación solar en el departamento de Lambayeque con el software Solarius Plus.....	83
Tabla N° 11: Comparación de las tres fuentes de radiación solar .....	84
Tabla N° 12: Tasa de crecimiento poblacional .....	85
Tabla N° 13: Tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque ..	86
Tabla N° 14: Necesidades de agua de personas y animales.....	87
Tabla N° 17: Datos de partida para el sistema de bombeo .....	89
Tabla N° 18: Posibles configuraciones de paneles fotovoltaicos .....	95
Tabla N° 19: Prestaciones de las bombas sumergibles LORENTZ .....	97
Tabla N° 20: Porcentajes de caída de tensión .....	98
Tabla N° 21: Conductores eléctricos NYY .....	99
Tabla N° 22: Sección mínima de los conductores de protección .....	102
Tabla N° 23: Sección del conductor de protección .....	102
Tabla N° 24: Selección de fusibles .....	103
Tabla N° 25: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	105
Tabla N° 26: Costo de inversión de la propuesta .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de Chochor en Mórrope .....	5
Figura N° 2: Temperatura en Mórrope .....	6
Figura N° 3: Precipitación en Mórrope .....	7
Figura N° 4: Tipos de radiación solar .....	17
Figura N° 5: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el caribe .....	18
Figura N° 6: Mapa solar del Perú .....	20
Figura N° 7: Concepto de horas sol pico .....	22
Figura N° 8: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico .....	23
Figura N° 9: Tipos de paneles solares .....	24
Figura N° 10: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos .....	27
Figura N° 11: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos.....	28
Figura N° 12: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos.....	28
Figura N° 13: Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica.....	31
Figura N° 14: Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.....	35
Figura N° 15: Detalle de provisión de agua a viviendas rurales.....	40
Figura N° 16: Detalle de un sistema de riego .....	41
Figura N° 17: Efecto fotovoltaico un una celda solar .....	44
Figura N° 18: Modulo fotovoltaico .....	45
Figura N° 19: Proceso de fabricación de las celdas solares .....	47
Figura N° 20: Bombas centrifugas de superficie.....	55
Figura N° 21: Bomba centrifuga superficial .....	56
Figura N° 22: Bomba centrifuga sumergible .....	57
Figura N° 23: Bomba volumétrica de cilindro .....	58
Figura N° 24: Bomba de diafragma sumergible.....	60
Figura N° 25: Entrevistando a un habitante del caserío Chochor .....	75
Figura N° 26: Pozo de agua en el caserío Chochor .....	77
Figura N° 27: Balde para la extracción de agua del pozo en el caserío Chochor .....	78
Figura N° 28: Radiación solar en el departamento de Lambayeque.....	80
Figura N° 29: Ganado vacuno en el caserío Chochor .....	87

Figura N° 30: Burros en el caserío Chochor .....	88
Figura N° 31: Aves de corral en el caserío Chochor.....	88
Figura N° 32: Cabras en el caserío Chochor .....	89
Figura N° 33: bomba LORENTZ PS2- 600 HR-14.....	92
Figura N° 34: Curva característica de la bomba seleccionada .....	93
Figura N° 35: Datos técnicos del controlador de la bomba .....	94

## INTRODUCCIÓN

El presente examen suficiencia profesional titulado: **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA EL CASERÍO CHOCHOR EN MÓRROPE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

es una propuesta que permite bombear agua en beneficio de los habitantes del caserío Chochor perteneciente al departamento de Lambayeque.

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

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

En el Capítulo III, se presenta el Marco Teórico, 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.

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

En el Capítulo VI, se presenta las conclusiones

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Problema de investigación**

El problema del suministro y disponibilidad de agua en la población rural de nuestro país y la región es una preocupación latente y cada vez más complicado; el crecimiento demográfico desordenado del medio rural hace que el consumo de agua potable sea cada vez mayor, motivo por el cual se debe suministrar de manera adecuada y racional.

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

Con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para el bombeo de agua subterránea se combinan los avances técnicos asociados a la electricidad (bombas eléctricas) junto con lo atractivo de contar con una fuente de energía autóctona y renovable.

Actualmente hay miles de sistemas de bombeo con energía fotovoltaica en operación de ranchos ganaderos y agrícolas alrededor del mundo. Los sistemas son confiables y económicamente competitivos para el productor rural.

## **1.2. Realidad problemática**

Chochor es un caserío del distrito de Mórrope perteneciente al departamento de Lambayeque la provincia de Lambayeque en la región Lambayeque cuenta con una población de 15 viviendas y 45 habitantes, actualmente está aislada del sistema de distribución eléctrico nacional, este caserío cuenta con el problema de suministro de agua para personas y animales, algunas veces se utiliza el agua de la lluvia, la mayor parte de los habitantes extraen el agua de un pozo poco profundo el cual en épocas de lluvia sufre desbordamientos de tierra y queda totalmente cubierto de este. Para hacer uso de este líquido en forma continua se requiere de la instalación de bombas de agua para succionar y transportar a un depósito de almacenamiento y así cubrir las necesidades.

El estado peruano ha decidido impulsar decididamente el uso y aplicación de las energías renovables, entre ellas la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es de suma importancia y bastante uniforme durante todo el año.

## **1.3. Formulación del problema**

¿Utilizando la energía solar fotovoltaica será posible suministrar de agua al caserío Chochor ubicado en el distrito de Mórrope del departamento de Lambayeque?

## 1.4. Delimitación de la investigación

### 1.4.1. Delimitación espacial

El caserío Chochor se encuentra ubicado en el distrito de Mórrope.

**Mórrope**<sup>1</sup> (en muchik: murrup, «iguana») es una localidad peruana ubicada en la región Lambayeque, provincia de Lambayeque, distrito de Mórrope. Es asimismo capital del distrito de Mórrope (Morropense). Se encuentra a una altitud de 21 msnm. Tiene una población de 3719 habitantes en 1993.

La ciudad de Mórrope fue declarado monumento histórico del Perú el 30 de diciembre de 1986 mediante el RMN° 796-86-ED

Mórrope está sobre la costa desértica. Se encuentra a 33 kilómetros al norte de Chiclayo. Alrededor de Mórrope tienen playas como El Sombrero, La Ensenada, El Barco, El Cura y San Pedro. Además, alberga sitios arqueológicos como Huaca Casa Grande y la Huaca Cucufána de la cultura moche.

Mórrope tiene origen en una leyenda sobre una iguana mítica conocida como “Murrup”.

Entre las costumbres típicas, la gastronomía resalta la preparación del “cebiche” que se diferencia por llevar chicha en vez del limón y el tostado de la cancha (maíz seco) se realiza en arena caliente. En cuanto a festividades la fiesta de todos los Santos es un evento que se congregan

---

<sup>1</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3rrope>



en el 1 y 2 de noviembre, o la fiesta de la Cruz de Pañalá entre los días 1 de mayo y 10 de noviembre.

En la agricultura se cultiva algodón nativo y calabazas utilizado para “mates burilados”

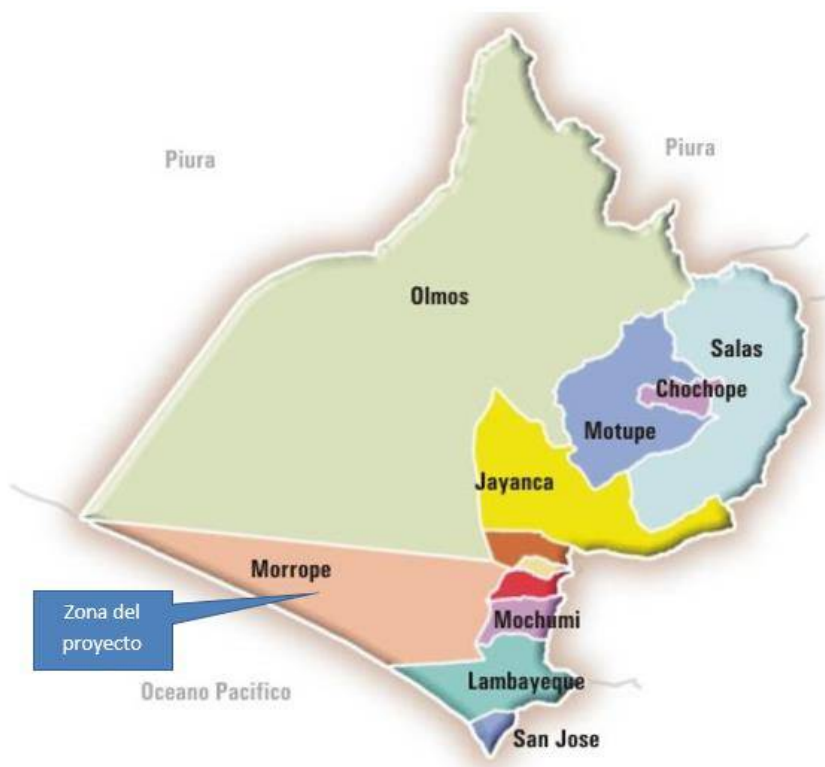


Figura N° 1: Ubicación de Chochor en Mórrope<sup>2</sup>

### **Temperatura**

La temporada calurosa dura 2,8 meses, del 17 de enero al 9 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 30 °C. El día más caluroso del año es el 28 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y una temperatura mínima promedio de 22 °C.

---

<sup>2</sup> [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa\\_pol%C3%ADtico\\_de\\_la\\_Provincia\\_de\\_Lambayeque.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa_pol%C3%ADtico_de_la_Provincia_de_Lambayeque.jpg)

La temporada fresca dura 4,5 meses, del 14 de junio al 30 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 25 °C. El día más frío del año es el 21 de septiembre, con una temperatura mínima promedio de 16 °C y máxima promedio de 24 °C.

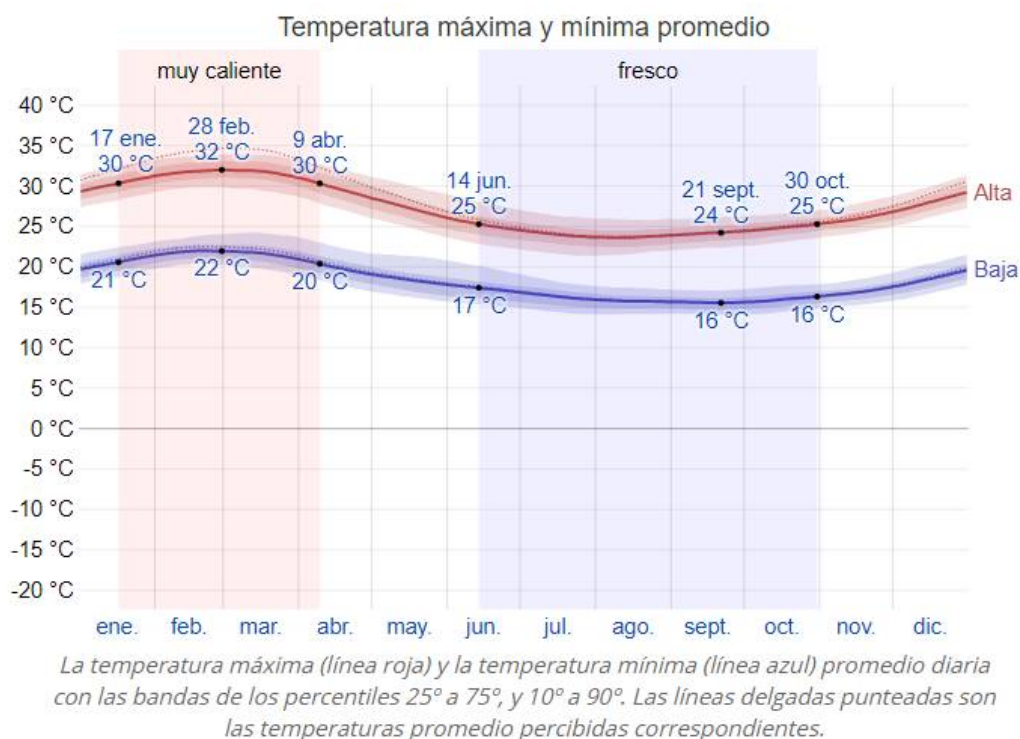


Figura N° 2: Temperatura en Mórrope<sup>3</sup>

## Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Mórrope tiene una variación ligera de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 1,5 meses, del 4 de febrero al 19 de marzo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros.

<sup>3</sup> <https://es.weatherspark.com/y/18253/Clima-promedio-en-M%C3%B3rrope-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 23 de febrero, con una acumulación total promedio de 15 milímetros.

El periodo del año sin lluvia dura 10 meses, del 19 de marzo al 4 de febrero. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 14 de agosto, con una acumulación total promedio de 0 milímetros.

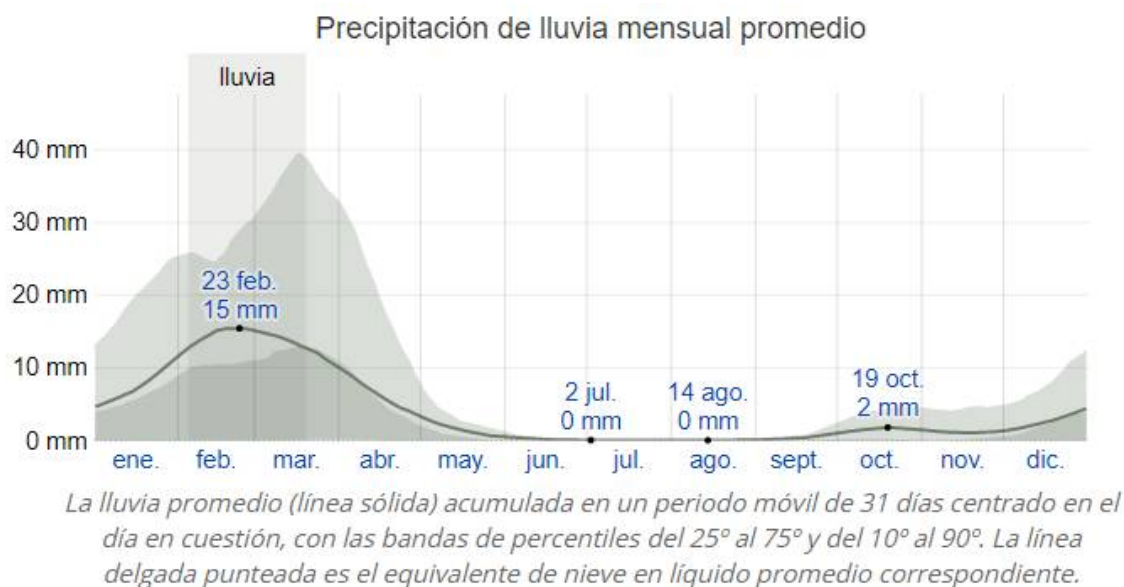


Figura N° 3: Precipitación en Mórrope<sup>4</sup>

#### 1.4.2. Delimitación temporal

Este examen de suficiencia tuvo una duración de 04 meses, en la cual participaron los pobladores del caserío Chochor en el distrito de Mórrope.

<sup>4</sup> <https://es.weatherspark.com/y/18253/Clima-promedio-en-M%C3%B3rrope-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

## **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

La integración de un sistema de bombeo de agua utilizando tecnología fotovoltaica tiene justificación:

### **Justificación Ambiental**

La situación que se vive en nuestro planeta debido a la contaminación producida por la utilización de energía generada de combustibles fósiles, ha obligado a tomar alternativas como las energías renovables para reducir en cierta medida el daño ecológico causado.

### **Justificación Científica**

Este examen de suficiencia promueve el uso de las energías no convencionales. Además, que servirá como antecedente para otras investigaciones relacionadas con el tema.

### **Justificación Social**

El trabajo de investigación tiene como beneficio mejorar la calidad de vida de los pobladores del caserío Chochor.

### **Justificación Técnica**

El aprovechamiento de la energía solar es una de las opciones para detener y mitigar los daños que la sociedad ha causado y causa en la naturaleza, es por eso que se requiere de equipos y sistemas en los cuales se implementen las diferentes aplicaciones de la energía solar, entre las cuales se encuentra el bombeo fotovoltaico.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

Con respecto a los datos de radiación solar el estudio se ha limitado a los datos obtenidos del atlas solar del SENAMHI del 2003, del software Meteonorm y el software SOLARIUS PLUS.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Dimensionar un sistema de bombeo de agua para el caserío Chochor en Mórrope utilizando energía solar fotovoltaica.

### **1.7.2. Objetivo Específicos**

- a) Determinar la demanda de agua promedio diaria en el caserío Chochor.
- b) Evaluar la energía solar disponible en el caserío.
- c) Dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico.
- d) Determinar el presupuesto referencial del sistema de bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudios

Cito a los siguientes autores en cada uno de los contextos siguientes:

#### Contexto Internacional

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

---

<sup>5</sup> (Salmeron Rodrigues y Blando Rivas 2014)

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

**Alvares Arboleada (2017, pág. 54)**, En su tesis de grado titulado “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 titulado “Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua”, en esta tesis explica que se realizó un análisis para la producción de la energía eléctrica a partir de los rayos del sol, que está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Se da a conocer que una de las aplicaciones de gran importancia de la energía solar fotovoltaica es el bombeo solar de agua, ya que estos están diseñados para el suministro de agua y riego en áreas retiradas donde no se dispone de un suministro de energía convencional, o esta no es fiable.

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

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



día). Se llevaron a cabo mediciones de las variables involucradas en el sistema de bombeo fotovoltaico, tales como: voltaje y corriente consumida por la bomba, irradiancia incidente y el flujo de agua producido por día. (Cabrera peña & Fermin Montiel, 2003)

### **Contexto nacional**

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

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

En resumen, el presente trabajo consiste en el dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares fotovoltaicos para una estación de bombeo de agua. La aplicación del presente estudio se desarrollará como un programa piloto para abastecer con agua a los servicios higiénicos de un pabellón de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Posteriormente se aplicará en todo el campus y como referencia para las comunidades rurales en donde la universidad tiene un convenio establecido. (Alata Rey 2015)

**Hernandez Quijaite** (s.f., pag. 12) , en su trabajo de tesis “Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica” da a conocer qué para hacer uso de este líquido se requiere de la instalación de bombas de agua para succionar y transportar el agua a la zona de cultivo, en la cual en las zonas rurales el tendido de red eléctrica se encuentra en algunos casos a distancia considerables, para el cual hacer un tendido de una red eléctrica resultaría un poco costoso para un pequeño sistema de bombeo, cabe recalcar que aunque recurso hídrico de la costa peruana es escaso, la disponibilidad de agua durante el año es variable, es por ello la construcción de pozos que se encuentran equipados con sistemas convencionales de bombeo diésel, especialmente en sistemas de menor potencia<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Hernandez Quijaite, Luis Eugenio. «Bombeo de agua con energia solar en el departamento de Ica.» Ica, s.f.

## **Contexto Local**

**Moran Santamaria (2013)**, en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope”; 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 llevó a la evaluación de otros recursos de energía renovable y su rentabilidad.

En este estudio el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo (en uso productivo se hizo el diseño de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua) frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con sistemas fotovoltaicos es de S/. 393,154.87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052.88 la cual es muy superior<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> 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.

## **2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado**

### **2.2.1. 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  $1,52 \times 10^{17}$  kW, 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 perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a  $1366 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un 3% a causa de la electricidad 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<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> (Salmeron Rodrigues y Blando Rivas 2014)

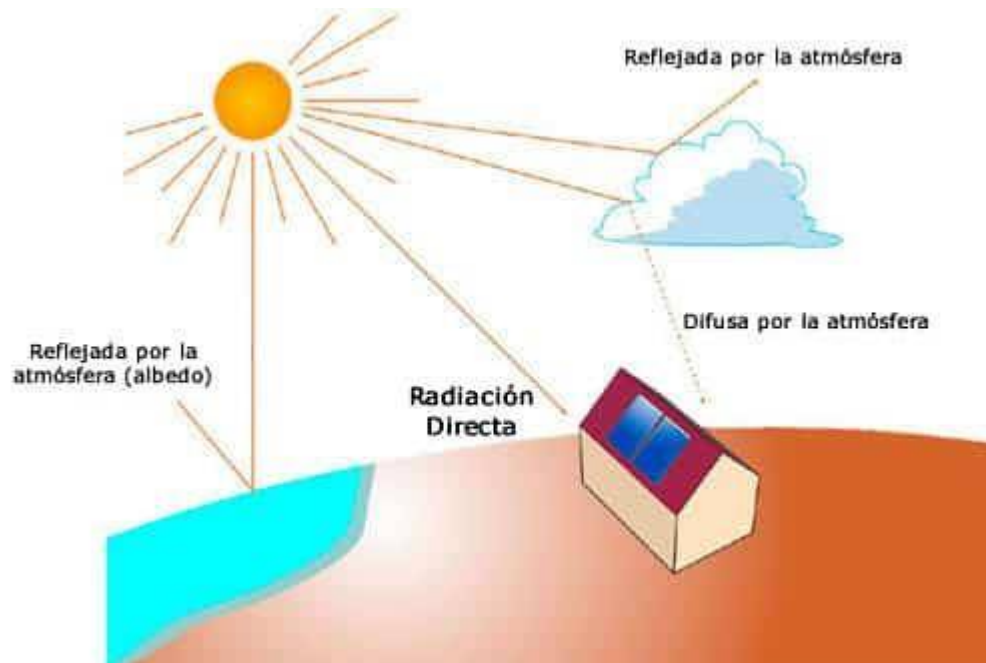


Figura N° 4: Tipos de radiación solar

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura N°5.



Figura N° 5: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el caribe<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014

### **2.2.1.1. Energía Solar en el Perú<sup>10</sup>**

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>; 5,0 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup> (ver Figura N° 6).

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

---

<sup>10</sup> <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>





producción de electricidad al punto de consumo evitando pérdidas durante el transporte y además de reemplazar el consumo de energía eléctrica de la red nacional y ahorrar costos a quienes la implementan.

No cabe duda de que las opciones de uso de la energía solar son grandes. Lamentablemente, aún existe desconocimiento de aquellos sectores que pueden aprovecharlo más intensamente. Desarrollar este subsector energético sería crucial ya que es una de las mejores opciones para cambiar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero.

#### **2.2.1.2. Horas de sol pico (H.S.P.)**

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

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la siguiente figura N° 7. (Valdiviezo Salas 2014).

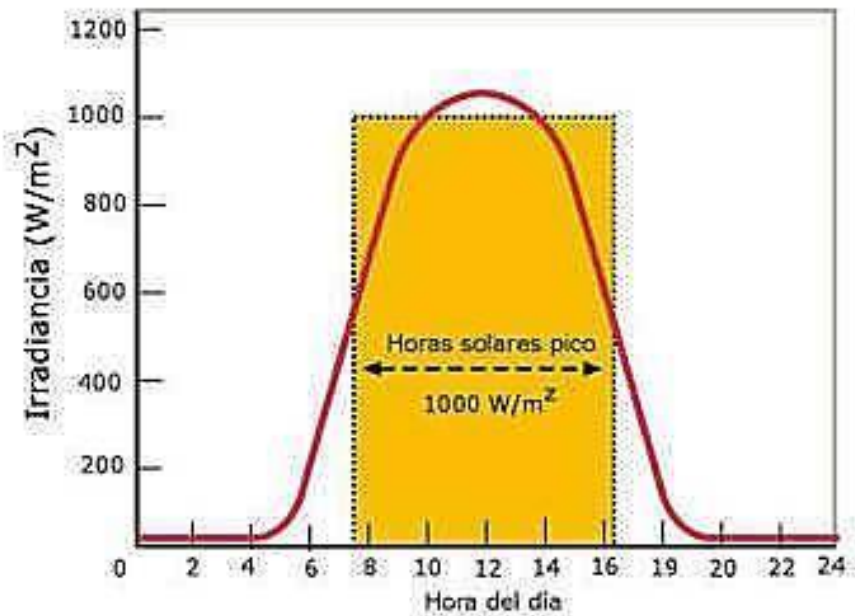


Figura N° 7: Concepto de horas sol pico<sup>12</sup>

### 2.2.1.3. Panel solar o módulo fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje.

Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobre todo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios.

<sup>12</sup> <http://fisicafuturo.blogspot.com/2013/05/electrificacion-de-viviendas-rurales.html>

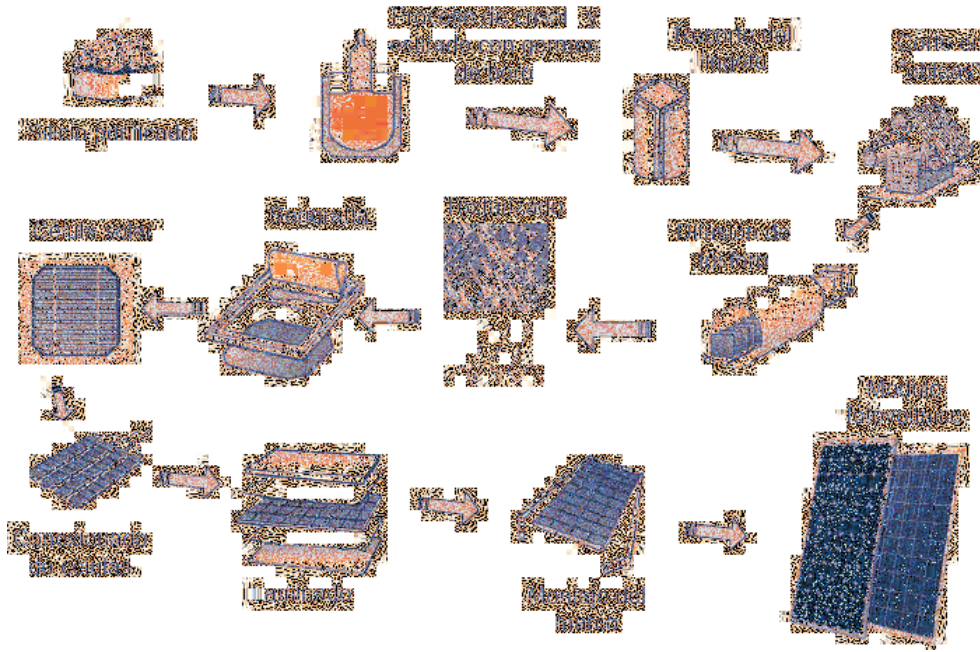


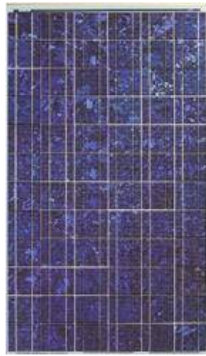
Figura N° 8: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico<sup>13</sup>

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

- i. Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- ii. Silicio amorfo.

---

<sup>13</sup> <http://www.electricidad-gratuita.com/construccion-fabricacion-celdas-solares-fotovoltaica/>



Policristalino



Monocristalino



Película Delgada

Figura N° 9: Tipos de paneles solares<sup>14</sup>

### **Potencia de la celda solar**

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 W o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características acabamos de ver.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades :

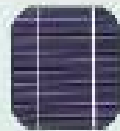


La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.

La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

---

<sup>14</sup> <https://solectricenergiasolar.wordpress.com/2013/11/25/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares/>

Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: (Díaz Corcobado 2008)

#### **2.2.1.4. Conexiones de módulos fotovoltaicos**

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen<sup>15</sup>.

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

**Conexión en serie** para elevar la tensión del generador.

**Conexión paralela** para elevar la intensidad de corriente del generador.

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

##### **a) Conexión de módulos Serie**

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 10).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la

---

<sup>15</sup> (Castejon 1998)

tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).



Figura N° 10: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos<sup>16</sup>

### b) Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 11

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

<sup>16</sup> <http://www.conermex.com.mx/blog-sombrasenpaneles.html>

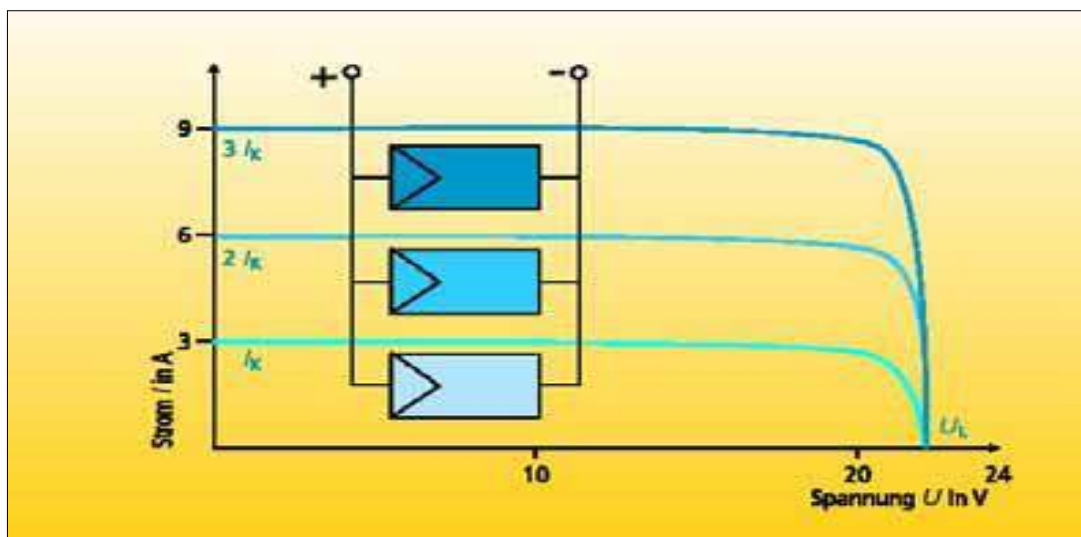


Figura N° 11: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos<sup>17</sup>

### 3. Conexión de módulos en serie/paralelo

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

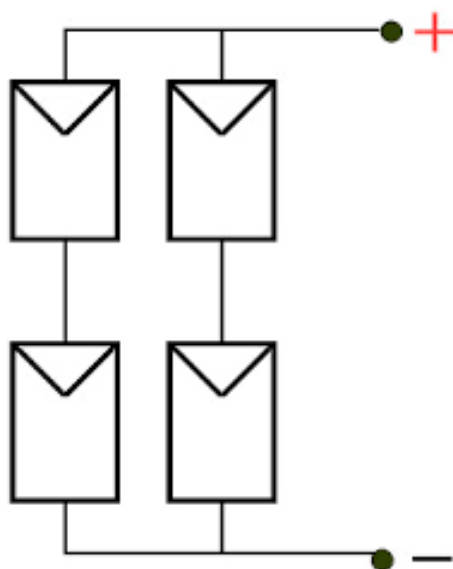


Figura N° 12: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos<sup>18</sup>

<sup>17</sup> FOTOVOLTAICA, ENERGIA. «manual sobre tecnologías, proyecto e instalacao .» s.f.

<sup>18</sup> (Agustin Castejon s.f.)



### 2.2.2. Bombeo solar fotovoltaico

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

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

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos para riego podrán presentar ventajas económicas frente a otras tecnologías de sistemas de riegos eficientes que permitan el ahorro del agua y energía, como son los sistemas de riego por goteo y se buscará maximizar la utilización de la energía disponible mediante una rotación sistemática de cultivos o cultivos permanentes<sup>19</sup>.

Existen dos alternativas de sistemas de bombeos fotovoltaicos que son:

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

---

<sup>19</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001.

- b) Bombeo con baterías:** Si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

Los equipos que conforman esta aplicación son:

- i) Módulos fotovoltaicos:** Captan la energía del sol y la convierten en electricidad en corriente continua.
- ii) Acoplamiento módulos-bomba:** Transforma la energía generada por los módulos fotovoltaicos en adecuada para el funcionamiento de la bomba.

#### **2.2.2.1. Funcionamiento del sistema de bombeo solar**

Un sistema de bombeo fotovoltaico es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia como se muestra en la figura N° 12, como sus principales componentes son: un arreglo de módulos fotovoltaico, un controlador, un motor y una bomba y por último un tanque de almacenamiento (Paredes Rubio 2001).

El sistema generador estará constituido por un conjunto de arreglos de módulos fotovoltaicos (paneles solares) conectados en serie o en paralelos, los cuales generarán la energía necesaria para accionar el motor bomba, intermedio a ellos se encontrará un controlador electrónico para la bomba (amplificador de corriente) es un dispositivo (Paredes Rubio 2001)

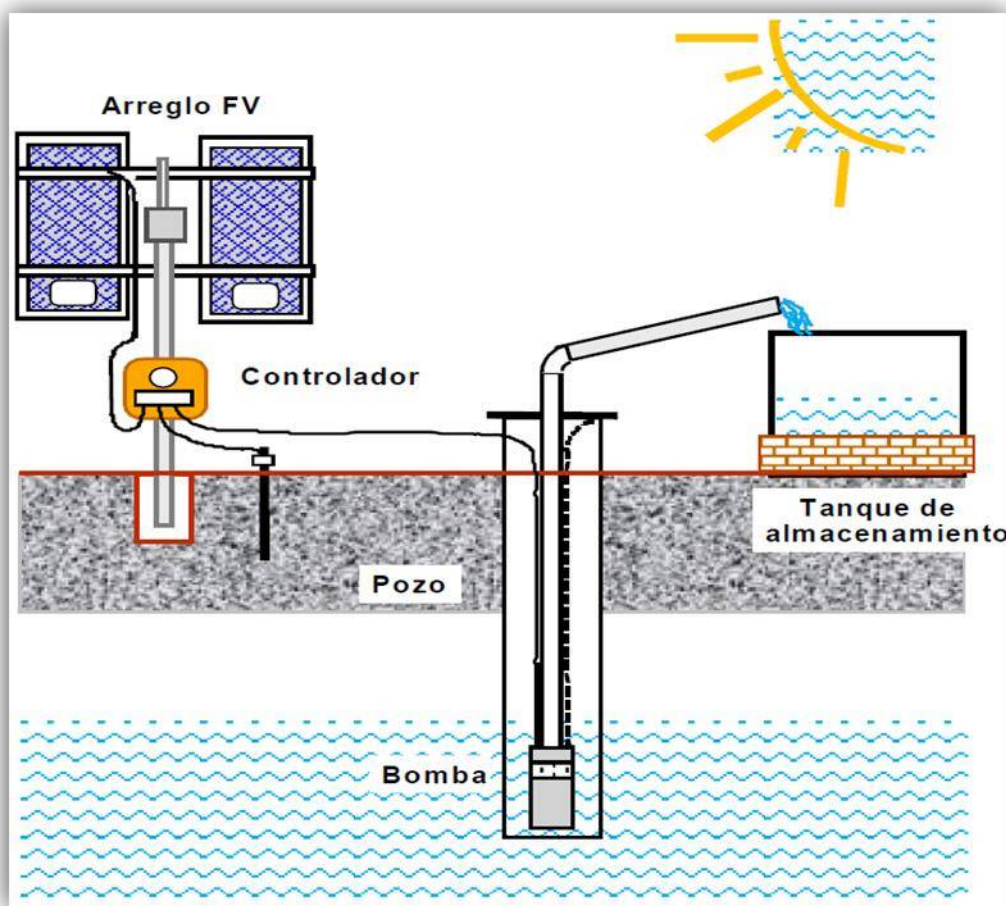


Figura N° 13: Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica<sup>20</sup>

Electrónico que se usa con la mayoría las bombas solares. Este actúa como una transmisión automática, ayudando a la bomba a encender y a no detenerse al disminuir la radiación solar.

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

<sup>20</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001

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

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

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

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

El sistema generador (paneles solares) deberá elegirse de manera que el punto de trabajo este lo más próximo posible de su punto de máxima potencia ya que son la parte principal del sistema de bombeo fotovoltaico. (Paredes Rubio 2001)

#### **2.2.2.2. Descripción del sistema de bombeo solar**

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

##### **a. Las condiciones hidráulicas.**

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 corriente alterna, etc.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

Subsistema de generación o generador fotovoltaico.

Subsistema motor-bomba.

Subsistema de acumulación y distribución.

Analicemos los factores que determinan la configuración del sistema<sup>21</sup>

### **2.2.2.3. Análisis hidráulico de un sistema de bombeo de agua**

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

$$\begin{aligned} CDT &= CE + CD \\ &= \text{Nivel estatico} + \text{abatimiento} \\ &+ \text{altura de descarga} + \text{friccion} \dots (1) \end{aligned}$$

---

<sup>21</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001

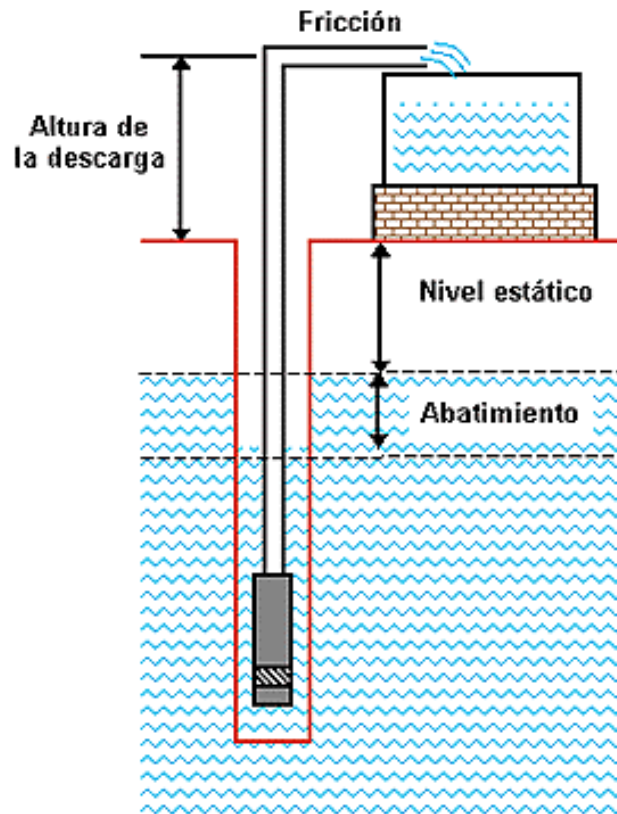


Figura N° 14: Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua<sup>22</sup>

### **Carga estática.**

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea el agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua.

<sup>22</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

### **Carga dinámica (Fricción).**

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos mayor resistencia producirá.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras<sup>23</sup>.

### **Valor por omisión**

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

---

<sup>23</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)



### Formula de Manning.

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

$$H_f = KLQ^2 \dots (2)$$

Donde:

**H<sub>f</sub>**: es el incremento en la presión causada por la presión y expresada en la distancia lineal (m).

**K**: es una constante empírica con unidades de (m<sup>3</sup>/s)<sup>-2</sup>.

**L**: es la distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

**Q**: es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

Tabla N° 2: valores de la constante K usando la fórmula de Maning<sup>24</sup>

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

Para la determinación de la energía hidráulica es necesario conocer en primer lugar las necesidades de agua, que las referiremos a los valores diarios medios de cada mes. Se puede distinguir entre el consumo continuo, como el abastecimiento de agua potable, tanto para las

---

<sup>24</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

personas como para el ganado, consumos estacionales como son los debidos al riego de cultivos.

Las necesidades de agua en las zonas rurales son de aproximadamente 25 a 50 litros por persona. Para el uso agrícola varía según el cultivo y las condiciones climatológicas del lugar. Se estima, en 50 a 300 m<sup>3</sup> por hectárea / día.

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

$$E_h = \gamma x V x h \dots (3)$$

Dónde:  $\rho$  es la densidad del agua (1 000 kg/m<sup>3</sup>),  $g$  es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>),  $V$  es el volumen del agua necesario diariamente (valor medio del mes en m<sup>3</sup>/día) y  $h$  es la altura manométrica total de elevación.

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

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

La altura dinámica se puede determinar mediante la siguiente expresión

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

Dónde:  $f$  es el coeficiente de fricción,  $L$  es la longitud de la tubería (m),  $d$  el diámetro hidráulico (m),  $v$  la velocidad media del fluido (m/s) y  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

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

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

Siendo  $K$  un coeficiente que depende del tipo de accesorio.

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

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

### **Aplicaciones típicas de bombeo solar de agua**

Entre las aplicaciones más comunes del bombeo solar se pueden observar en el esquema de la figura 15 que indica el montaje de un sistema fotovoltaico con una bomba sumergida para la provisión de agua a un grupo de viviendas rurales (Cabrera Peña y Fermin Montiel 2003).

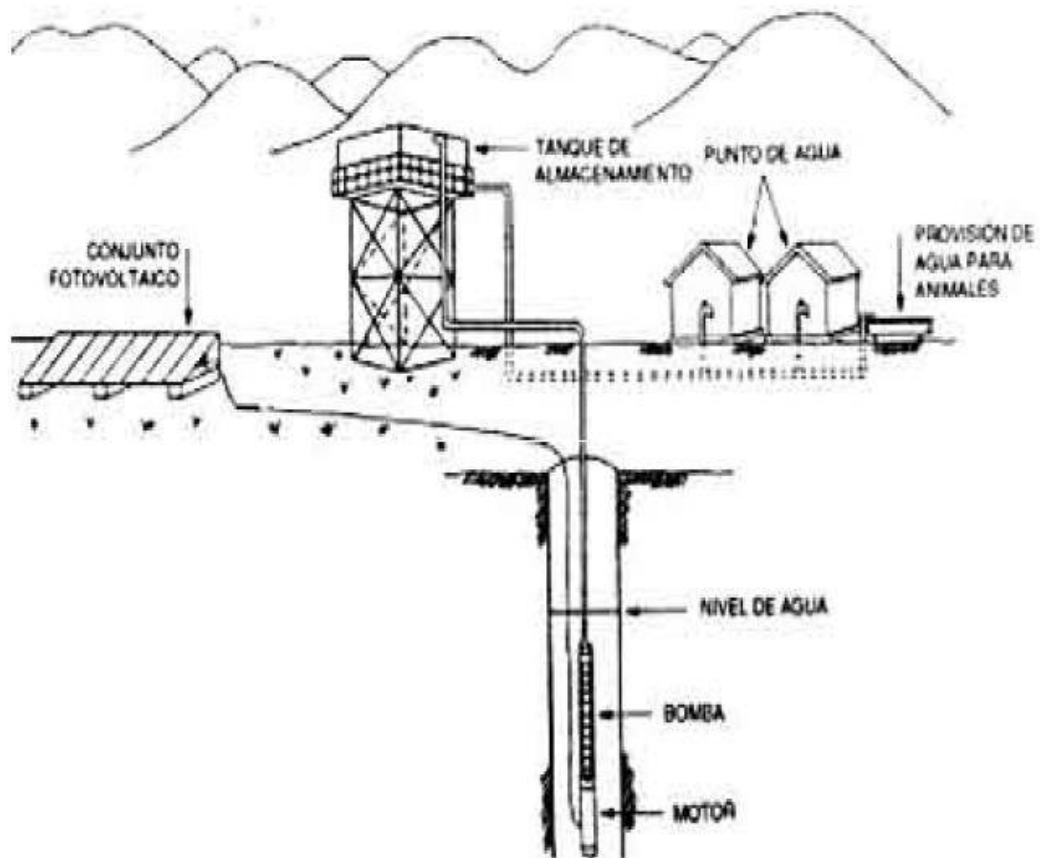


Figura N° 15: Detalle de provisión de agua a viviendas rurales<sup>25</sup>

**En aplicaciones agrarias**, además del consumo humano, el bombeo de agua se emplea para riego, animales, etc. En la **figura 16** se detalla un sistema de irrigación por goteo de cultivos, mediante motobomba ubicada en un pozo, accionada con paneles fotovoltaicos.

<sup>25</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

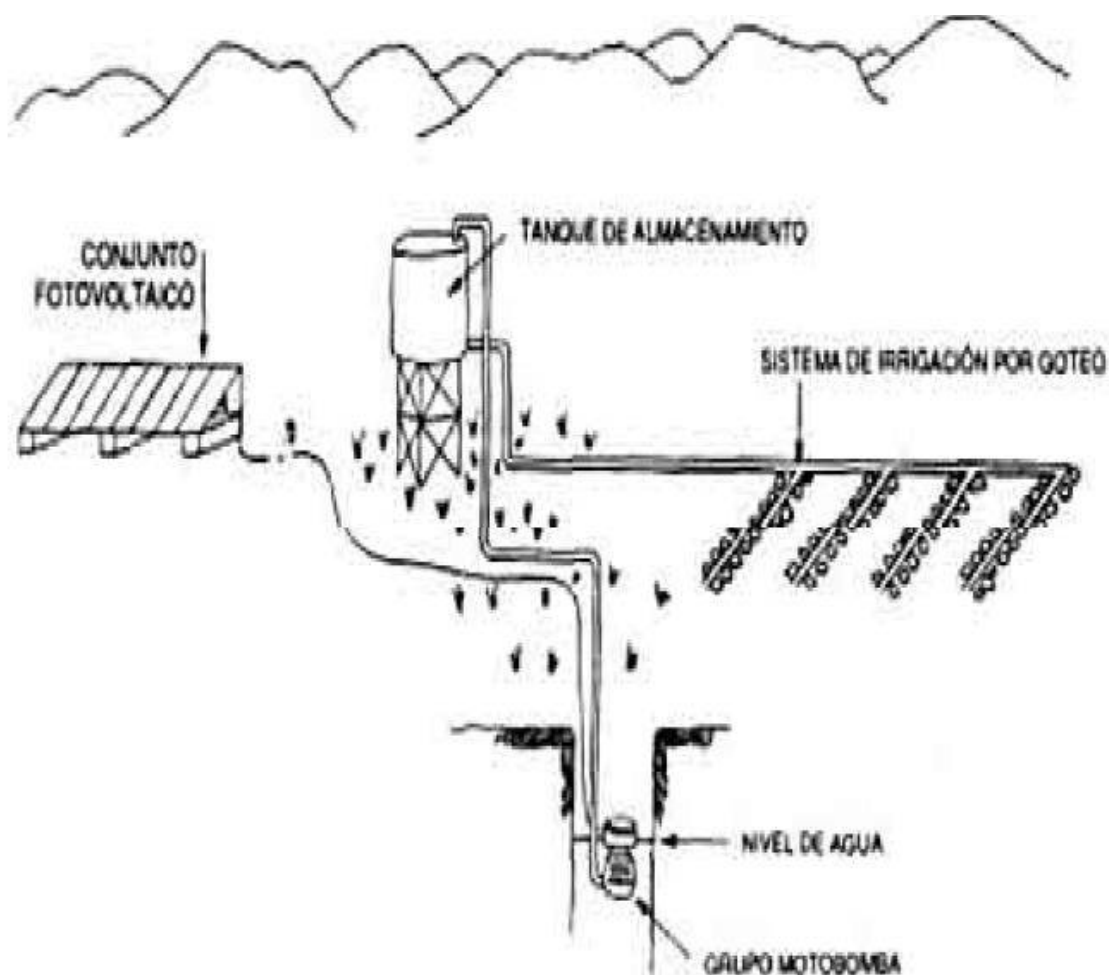


Figura N° 16: Detalle de un sistema de riego<sup>26</sup>

Otras de las principales aplicaciones son las siguientes:

Residencias aisladas.

El suministro de agua potable para casas unifamiliares en lugares apartados puede realizarse instalando un tanque de agua para asegurar el suministro de agua durante la noche.

Pozos aislados de la casa central.

Riego en Campos.

Cotos de Caza.

<sup>26</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

Suministro de agua para ganado.

El agua se bombea a un depósito abierto colocado directamente en la superficie.

Parques Naturales.

Suministro de agua para pueblos.

### **Ventajas del bombeo solar de agua**

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

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

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

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

No emite ninguna contaminación al medio.

Un panel fotovoltaico supera los 40 años de vida.

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

Además en tabla 3 se muestra una comparación acerca del uso de una bomba con generador diésel con una bomba solar, con el fin de mostrar que la bomba solar presenta una gran ventaja para contrarrestar los

fenómenos de impacto al medio ambiente que genera la bomba al utilizar combustible convencional.

Tabla N° 3: Comparación entre una bomba que usa combustible con una bomba solar<sup>27</sup>

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

#### 2.2.2.4. Generador fotovoltaico

El subsistema de generación está formado por un conjunto de paneles solares

##### **Paneles fotovoltaicos:**

Las celdas Fotovoltaicas son aquellas que transforman directamente parte de la energía solar que reciben en energía eléctrica, y la producción de la misma está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotovoltaico” (ver figura N° 17)

<sup>27</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

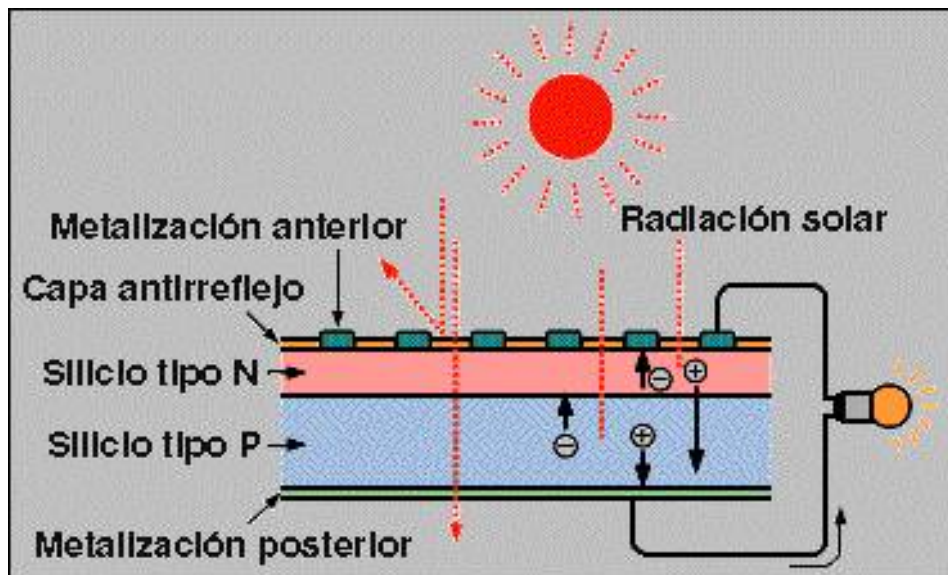


Figura N° 17: Efecto fotovoltaico un una celda solar<sup>28</sup>

Estas celdas están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa las celdas). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de las celdas<sup>29</sup>

Un arreglo de varias celdas fotovoltaicas conectadas eléctricamente unas con otras y montadas en una estructura de apoyo o un marco, se llama módulo fotovoltaico (Figura 18). Los módulos están diseñados para proveer un cierto nivel de voltaje, considerado como

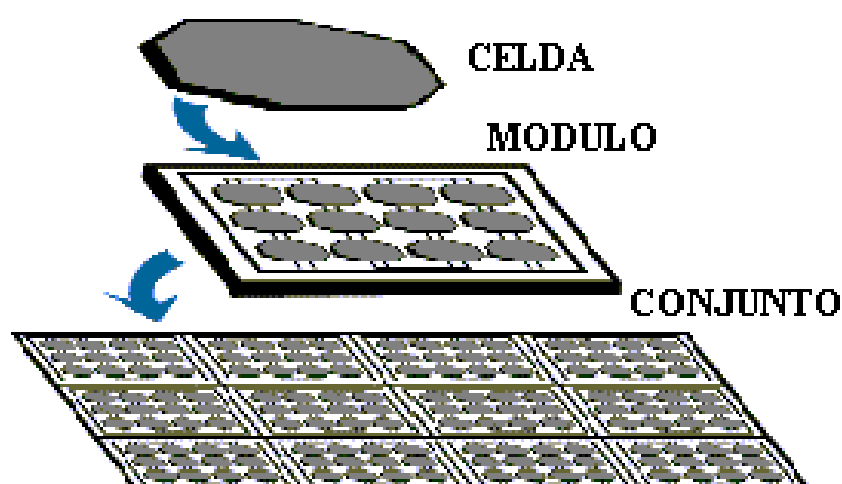
<sup>28</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

<sup>29</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)



**Voltaje a circuito abierto  $V_{ca}$  ( $V_{oc}$ )**, definiéndolo como aquel voltaje máximo que genera un módulo solar. Su unidad de medición es el volt. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda.

Además, la corriente producida depende directamente de cuánta luz llega hasta el módulo. Esta es considerada como, **Corriente a corto circuito  $I_{cc}$  ( $I_{sc}$ )**. Es la máxima corriente generada por el módulo solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. La unidad de medición es el Amper. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa.



---

Figura N° 18: Módulo fotovoltaico<sup>30</sup>

También en un arreglo FV se pueden conectar eléctricamente en serie o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, corriente y voltaje

---

<sup>30</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo. (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

### **Fabricación de las celdas fotovoltaicas**

Tecnológicamente, la fabricación de celdas solares es muy compleja. La materia prima es la arena común ( $\text{Si O}_2$ ), la cual debe ser trasladada a una factoría donde se le extrae el oxígeno que contiene y donde el silicio resultante sufre un complejo proceso de purificación. El producto resultante pasa a otra fábrica donde se transforma en plaquitas de silicio fotovoltaico.

De ella pasa a una tercera donde se efectúan las operaciones físico-químicas de formación de campo eléctrico interno y de formación de electrodos metálicos. Por último, de esta fábrica pasa a otra donde esta celda se solda, encapsula y se forman los módulos o paneles. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente el proceso de fabricación de la celda. (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

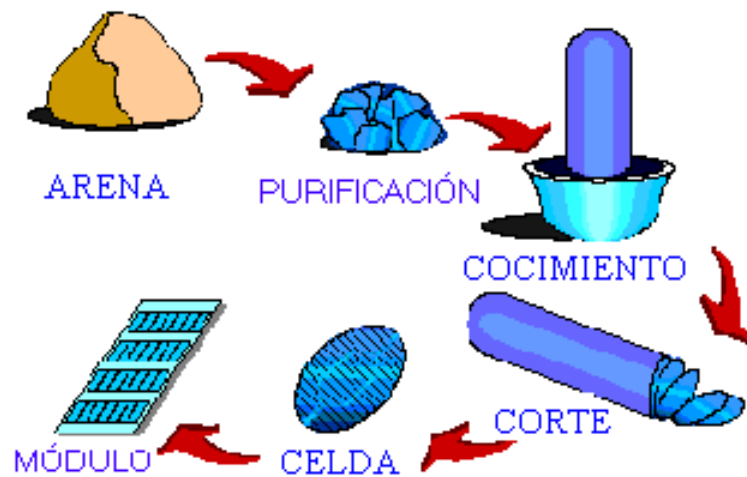


Figura N° 19: Proceso de fabricación de las celdas solares<sup>31</sup>

### Clasificación de las celdas fotovoltaicas

Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación.

Las celdas fotovoltaicas se clasifican en cristalinos, policristalinos y amorfos.

**a) Celdas Fotovoltaicas Monocristalinos.** Las celdas de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro a una temperatura de 1500 °C. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que se va haciendo crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se

<sup>31</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

obtiene un monocristal dopado, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizar la serigrafía para las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento antireflexivo de bióxido de titanio o zirconio. (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

Las **ventajas** de las celdas Monocristalinos son que recientemente se han alcanzado eficiencias en la celda en torno al 22 % bajo incidencia normal de la luz solar y 28% de eficiencia bajo concentración. En módulos, la eficiencia está entre 12-15%. Esto significa doblar la eficiencia conseguida 12 años atrás. La fiabilidad de módulos de silicio monocristalino ha realizado también un progreso impresionante. La máxima degradación durante el período de vida es inferior al 10%. Hace doce años, estos módulos duraban cinco años. Sin embargo hoy a estos módulos se les prevé una duración cercana a los treinta años.

Sin embargo, los dispositivos de silicio monocristalino tienen sus **desventajas**: requieren una gran cantidad de material, una gran cantidad de energía para producir este material y las técnicas de producción en serie no son fáciles de adaptar. Son bastante caras y difíciles de conseguir.

**b) Celdas Fotovoltaicas Policristalinos.** Se obtiene a temperaturas más bajas que el anterior con lo que se disminuyen las fases de cristalización. Se constituyen básicamente con silicio, mezclado con Arsenio y Galio, son agregados de materiales, casi es como un biscocho:

en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinos. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; este es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. (Cabrera Peña y Fermin Montiel 2003)

Las **ventajas** de estas celdas son en que las celdas fotovoltaicas policristalinos no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.

Son más fáciles de conseguir y se obtiene un rendimiento nada despreciables del 14%. Las **desventajas** de estas celdas son que no duran tanto tiempo, y se rompen si se encuentran en lugares desérticos y en las altas montañas. (Cabrera Peña y Fermin Montiel 2003)

**c) Celdas fotovoltaicas amorfas.** Este material ha encontrado casi el mismo amplio uso en fotovoltaica que el silicio monocristalino. La tecnología y los procesos industriales se están implantando a gran escala, aunque el mercado se ha centrado en el uso para equipos electrónicos de consumo. La mayor ventaja del silicio amorfo es el poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico de muy bajo costo. Esto permite su abaratamiento y la posibilidad de técnicas de producción en serie, ya que grandes módulos se pueden depositar en un único proceso.

Tabla N° 4: Clasificación de las celdas o células solares<sup>32</sup>

CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

#### 2.2.2.5. Subsistema Motor- Bomba

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

Motores.

Bombas.

##### a. Motores.

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados. Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los

<sup>32</sup> (Cabrera peña y Fermin Montiel 2003)

motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound. Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos. (Paredes Rubio 2001)

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominal y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento así como el flujo magnético.

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

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

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

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

## **b. Bombas.**

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

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte



móvil, obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas. La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales. (Paredes Rubio 2001)

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

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones determinado. Además, el rendimiento de las bombas centrífugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrífugas reúnen una serie de ventajas entre las que destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque. (Paredes Rubio 2001)

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de

agua se hace en altura. Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura manométrica. Las de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no 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) (Paredes Rubio 2001).

#### **2.2.2.6. 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**<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> (Paredes Rubio 2001)

### a). Bombas centrífugas<sup>34</sup>.

La bomba centrífuga más común tiene paletas acopladas a un mecanismo rotativo de alta velocidad el que, básicamente, “tira” el agua hacia arriba. Algunos modelos incorporan, dentro del cuerpo de la bomba, hasta tres etapas de bombeo centrífugo, las que trabajan una a continuación de la otra. Las bombas a chorro son consideradas como centrífugas. En estas bombas un mecanismo rotativo crea un fuerte chorro, el que empuja, dentro de la bomba, el agua a extraerse. Es típico que por cada unidad de volumen inyectada se extraigan dos, lo que representa un balance neto de una unidad.

Las bombas centrífugas pueden ser sumergibles o de superficie y resultan útiles cuando se requieren abundantes caudales de agua en pozos de poca profundidad. Cuando la fuente hidráulica es de superficie (lagunas, ríos o cisternas) este tipo de bomba representa la mejor solución. El uso más común para este tipo de bombas es la irrigación de sembrados. La Figura 20 muestra una bomba centrífuga de superficie con autocebado.

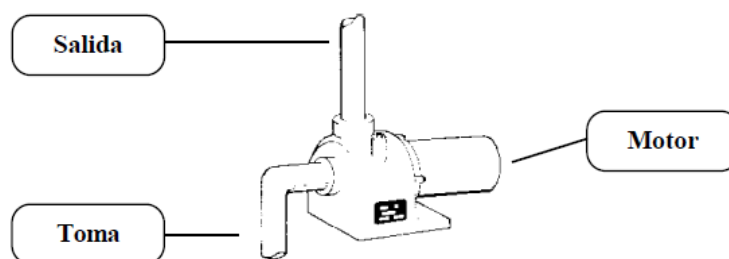


Figura N° 20: Bombas centrífugas de superficie<sup>35</sup>

<sup>34</sup> (Paredes Rubio 2001)

<sup>35</sup> [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf)



Figura N° 21: Bomba centrifuga superficial<sup>36</sup>

Hay una gran variedad de bombas centrifugas 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 centrifugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple. (Paredes Rubio 2001).

---

<sup>36</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica.» Mexico, 2001

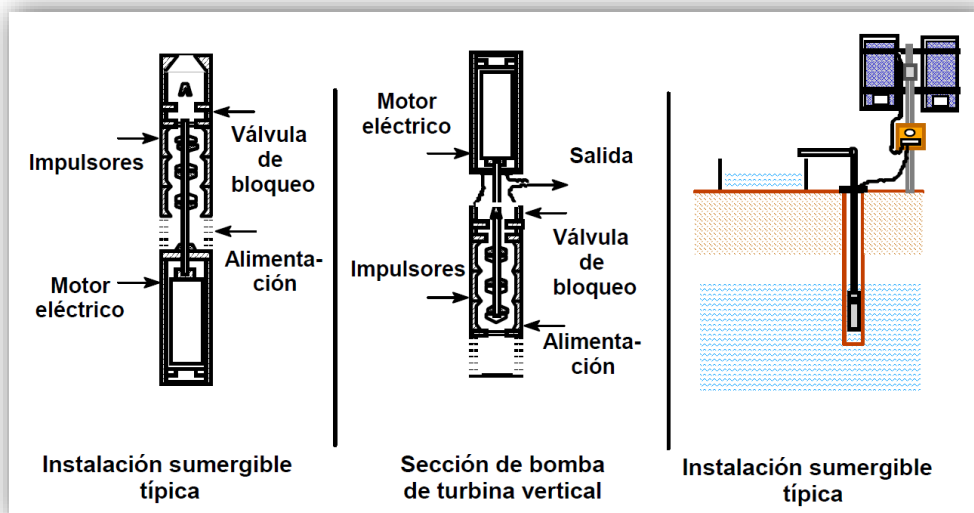


Figura N° 22: Bomba centrífuga sumergible<sup>37</sup>

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

<sup>37</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001

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° 23.

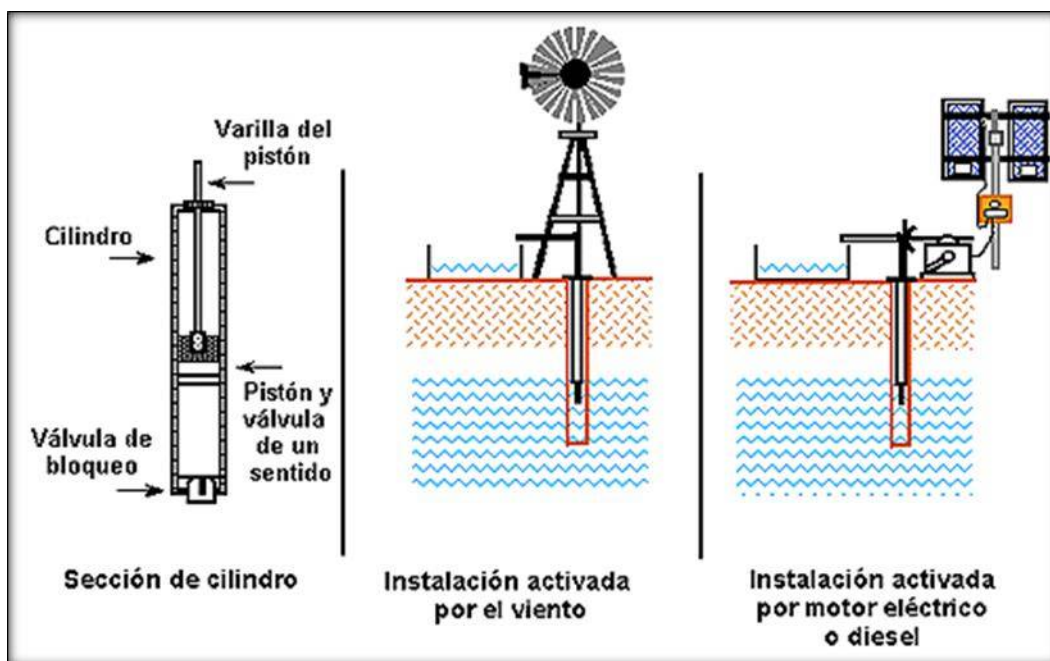


Figura N° 23: Bomba volumétrica de cilindro<sup>38</sup>

### 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

<sup>38</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001

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° 24).

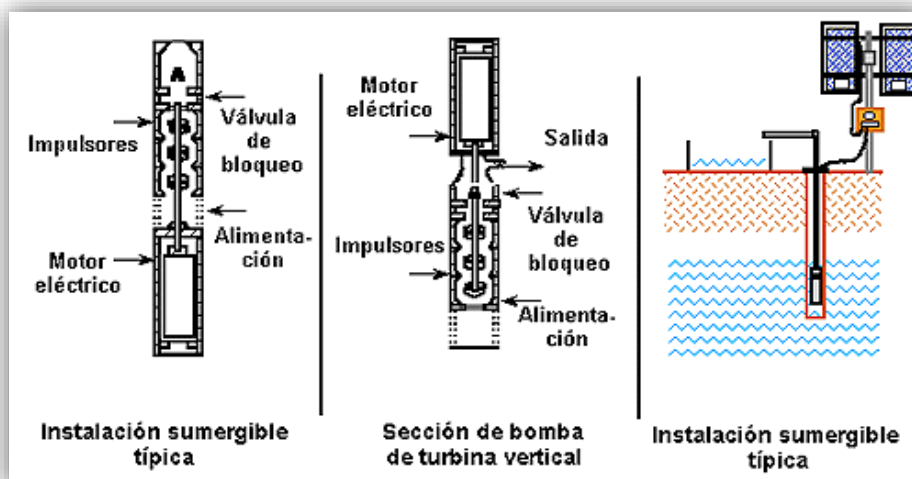


Figura N° 24: Bomba de diafragma sumergible<sup>39</sup>

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).

#### 2.2.2.7. 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.

<sup>39</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001



Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que, en un sistema fotovoltaico, la energía cuesta dinero. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de una bomba. Un solo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

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

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

Tabla N° 5: Principales características de las bombas fotovoltaicas

<b>Bombas Fotovoltaicas</b>	<b>Características y Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
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.

fuelle: (Paredes Rubio 2001).

#### 2.2.2.8. Subsistema de acumulación y distribución.

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

Debe tenerse presente que la solución más simple y económica **es acumular agua en lugar de energía eléctrica**, usando una cisterna. Su incorporación permitirá minimizar el efecto causado por las variaciones estacionales de los recursos hidráulicos o desperfectos temporarios que interrumpan su funcionamiento<sup>40</sup>.

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

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

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

---

<sup>40</sup> [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf)

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

Son sistemas funcionales son de fácil instalación, uso y mantenimiento, y pueden ser instalados temporal o permanentemente en las áreas de producción. Su apropiada utilización y mantenimiento brinda una garantía entre cinco a siete años de vida útil<sup>41</sup>

#### **2.2.2.9. 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).<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> (Paredes Rubio 2001)

<sup>42</sup> (Díaz Corcobado 2008)

## **2.3. Definición conceptual de la terminología empleada<sup>43</sup>.**

### **Generador fotovoltaico**

Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.

### **Rama o serie fotovoltaica**

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

### **Potencia nominal del generador**

Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

### **Potencia instalada fotovoltaica o potencia nominal**

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

### **Célula solar o fotovoltaica**

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

### **Radiación solar**

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

### **Irradiancia**

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

### **Irradiación**

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

### **Instalación fotovoltaica**

---

<sup>43</sup> (Ixtebe Portabelle 2010)

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

### **Instalaciones fotovoltaicas interconectadas**

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

### **Modulo o panel fotovoltaico**

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

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

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

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

**Condiciones de prueba estándar:** Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).

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

**Conexión en serie:** Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así

sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

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

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

**Constante solar:** Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de  $1 \text{ m}^2$  por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente  $1,36 \text{ kW/m}^2$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

**Horas de sol pico:** Número equivalente de horas a 1 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

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

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

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

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

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

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



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

**NOCT** (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a  $800 \text{ W/m}^2$  de radiación en un ambiente con aire a  $20^\circ\text{C}$  de temperatura y circulando a una velocidad de  $1 \text{ m/s}$ , 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.

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

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

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

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

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La metodología utilizada para desarrollar y concluir este examen de suficiencia se describe a continuación.

**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 productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. El presente ensayo presenta una visión sobre los pasos a seguir en el desarrollo de investigación aplicada, la importancia de la colaboración entre la universidad y la industria en el proceso de transferencia de tecnología, así como los aspectos relacionados a la protección de la propiedad intelectual durante este proceso<sup>44</sup>. Entonces es aplicada debido a se hará uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar solución al problema que es la falta de suministro de agua para satisfacer el requerimiento de personas y animales.

**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

---

<sup>44</sup> <http://www.uti.edu.ec/antiguo/index.php/investigacion-por-carreras/item/554-volumen3-cap6.html>

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 conocimiento<sup>45</sup>. Entonces es descriptiva porque pretende describir las características de las variables en estudio energía solar y como se presentan en la realidad.

**Es investigación de Datos Primarios:** Porque aquí los datos que se han recogido en el lugar donde se desarrollará el proyecto, como es el número de habitantes y animales en el caserío y así poder obtener la demanda de agua.

**El diseño de investigación es no experimental:** es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para analizarlos con posterioridad. En este tipo de investigación no hay condiciones ni estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio. Los sujetos son observados en su ambiente natural<sup>46</sup>.

### 3.2. Población y muestra

Se ha considerado para este estudio toda la población que son los habitantes y animales del caserío Chochor ubicado en el Distrito de Mórrope en Lambayeque.

---

<sup>45</sup> <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigaci-n-descriptiva.php>

<sup>46</sup> [https://www.ecured.cu/Investigaci%C3%B3n\\_no\\_experimental](https://www.ecured.cu/Investigaci%C3%B3n_no_experimental)

### **3.3. Hipótesis**

¿Utilizando la energía solar fotovoltaica entonces con el dimensionamiento de un sistema de bombeo eficiente el caserío Chochor tendrá suministro de agua en forma continua y eficiente?

### **3.4. Variables - Operacionalización**

X: Variable independiente:

Radiación solar fotovoltaica

Y: Variable dependiente:

Sistema de bombeo de agua

Tabla N° 6: Operacionalización de variables<sup>47</sup>

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<b>Sistema de bombeo de agua</b>	El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación <sup>48</sup>	Dimensionamiento y especificación de los equipos del sistema de bombeo fotovoltaico para satisfacer la demanda de agua.	Caudal diario requerido (m <sup>3</sup> ).  Dimensionamiento de la bomba sumergible. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos (Wp). Dimensionamiento de conductores eléctricos (mm <sup>2</sup> ) Dimensionamiento el tanque de almacenamiento (m <sup>3</sup> ).
<b>Radiación solar fotovoltaica</b>	La energía fotovoltaica es la <b>transformación directa de la radiación solar en electricidad</b> . Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados <b>paneles fotovoltaicos</b> . En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. <sup>49</sup>	Determinar la Irradiación solar	Irradiación solar promedio (Kwh/m <sup>2</sup> /día)

<sup>47</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>48</sup> <http://www.sistemahtf.com/index.php/el-sistema-de-bombeo>

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

### **3.5. Métodos y técnicas de investigación**

#### **Métodos**

En este examen de suficiencia profesional utilizamos el método deductivo a partir de las teorías, leyes y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas las aplicamos para calcular, seleccionar los equipos. Las técnicas principales empleadas fueron las siguientes:

#### **Técnicas**

##### **a) Observación directa**

Con esta técnica conoceremos el estado en que se encuentra el caserío Chochor, ya sea en diferentes aspectos como social, económico, y ambiental.

##### **b) La Entrevista**

Así mismo utilizaremos la técnica de la entrevista con lo cual conoceremos el número total de habitantes, así como también los animales a cada vivienda, con lo cual podemos calcular la demanda de agua promedio diaria.

##### **c) Análisis de contenido**

Este instrumento se utilizó para obtener información de diferentes bibliografías sobre sistemas de bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica.



Figura N° 25: Entrevistando a un habitante del caserío Chochor<sup>50</sup>

### 3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 7: Técnicas e instrumentos<sup>51</sup>

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

<sup>50</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>51</sup> Fuente: elaboración propia del autor

### **3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos**

El tratamiento que se le dará a los datos obtenidos de diferentes fuentes del radiación solar será utilizando la estadística descriptiva, específicamente utilizaremos el valor de tendencia central como el promedio y también el valor mínimo de un conjunto de datos, con la finalidad de asegurarnos que aun en las peores condiciones nuestro sistema de bombeo logre suministrar el agua necesaria para la población. Con respecto a los consumos de agua por persona y animales utilizaremos valores promedios de consumo consultando diferentes bibliografías.

Con respecto de la tasa de crecimiento poblacional calcularemos el valor promedio de las diferentes tasas de crecimiento a lo largo de un periodo de tiempo brindado por el INEI.

Los datos serán debidamente organizados en tablas y gráficas de barras utilizando el MS Excel 2016.



## CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. Propuesta de la investigación

En este examen de suficiencia se propone la implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico para el caserío Chochor en el distrito de Mórrope perteneciente al departamento de Lambayeque.



Figura N° 26: Pozo de agua en el caserío Chochor<sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> Fuente: elaboración propia del autor

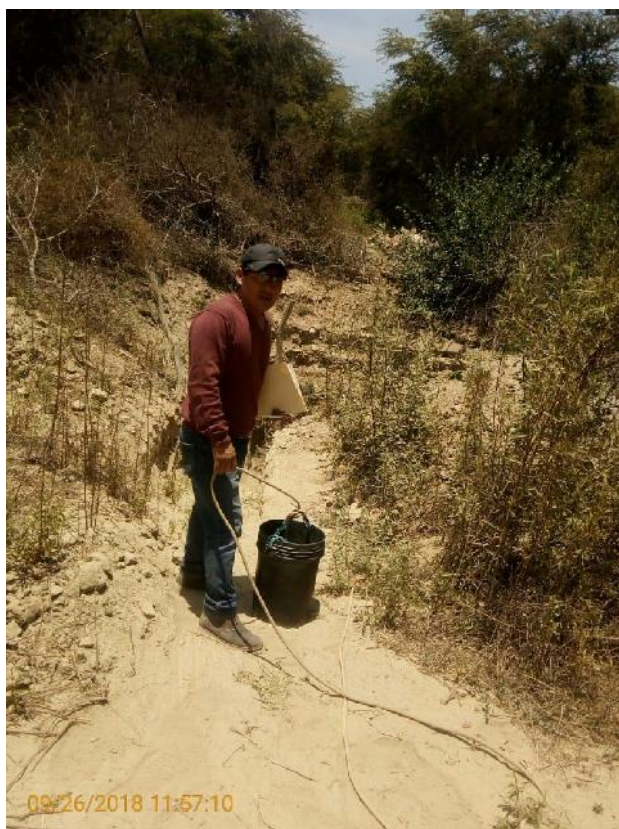


Figura N° 27: Balde para la extracción de agua del pozo en el caserío Chochor<sup>53</sup>

#### 4.1.1. Equipamiento de la propuesta

Con la finalidad de lograr solucionar la problemática que adolecen los habitantes del caserío Chochor se propone un sistema de bombeo utilizando energía fotovoltaica el cual presentara los siguientes componentes.

- a) Generador Fotovoltaico: Considerar paneles fotovoltaicos de reconocida marca y de una potencia comercializable y la capacidad del generador fotovoltaico lo suficiente como para lograr suministrar de energía al sistema de bombeo.

---

<sup>53</sup> Fuente: elaboración propia

b) Controlador de carga: marca reconocida con la capacidad de corriente eléctrica de tal manera que pueda soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico y la potencia suficiente para que no se produzcan sobrecargas.

c) Bomba sumergible: Se considerará una bomba de marca reconocida y con características técnicas lo suficiente para lograr suministrar agua al caserío Chochor.

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

## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Evaluación de la energía solar disponible

Para determinar la radiación solar en el caserío Chochor se ha consultado tres fuentes: El atlas solar del Perú, el uso del software Meteonorm, cuyos datos se detallan a continuación:

**Atlas de energía solar del Perú**<sup>54</sup>, del cual podemos obtener la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Lambayeque<sup>55</sup>, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día y 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día.

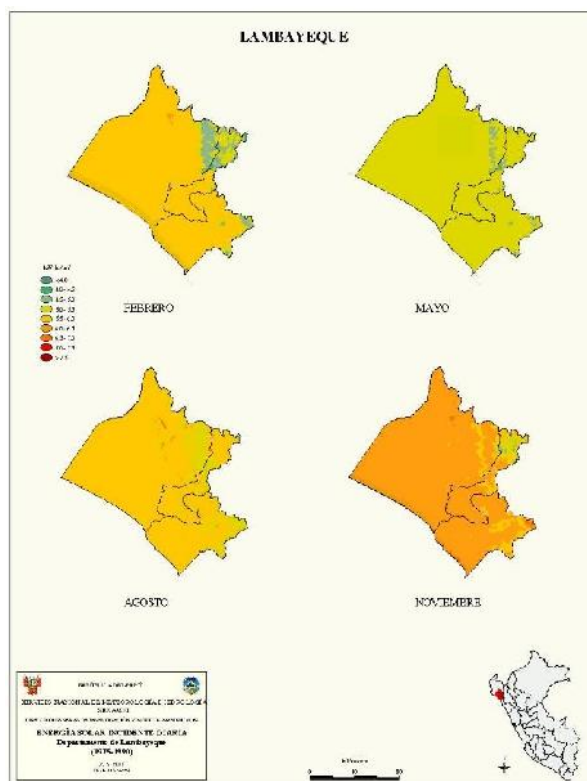


Figura N° 28: Radiación solar en el departamento de Lambayeque<sup>56</sup>

<sup>54</sup> (SENAMHI 2003)

<sup>56</sup> (SENAMHI 2003)

**Consultando Software Meteonorm:** Este software brinda información de la radiación solar.








Los datos de la latitud y longitud donde se ubica el caserío Chochor<sup>57</sup>

Latitud: -6.54190565200

Longitud: -80.0580530720

Tabla N° 8: Radiación solar mensual según software<sup>58</sup> METEONORM 7.2

### Caserio Chochor

<div> <div> Radiación</div> <div> Temperatura</div> <div> Precipitación</div> <div> Duración de la insolación</div> </div>							
<div> <div> Radiación global diaria</div> <div> Temperatura diaria</div> <div> Tabla de datos</div> </div>							
	Gh kWh/m <sup>2</sup>	Dh kWh/m <sup>2</sup>	Bn kWh/m <sup>2</sup>	Ta °C	Td °C	FF m/s	
Enero	197	78	170	24.3	18.8	5.1	
Febrero	187	72	160	25.7	19.7	4.4	
Marzo	205	74	184	25.7	19.8	4.3	
Abril	187	65	177	23.7	18.1	4.9	
Mayo	170	66	158	21.3	16.3	5.4	
Junio	146	62	133	19.9	15.6	4.9	
Julio	141	66	117	19.6	15.4	4.7	
Agosto	155	83	105	19.3	15.1	4.9	
Setiembre	174	71	142	19.2	14.7	5.5	
Octubre	187	80	152	19.6	14.8	5.6	
Noviembre	182	76	153	20.6	15.6	5.5	
Diciembre	194	80	162	22.4	17.2	5.4	
Año	2129	873	1813	21.8	16.8	5.1	

Para obtener la radiación solar promedio diario tendremos en consideración el número de días de cada mes tal como se muestra en la siguiente tabla N° 9

<sup>57</sup> <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

<sup>58</sup> Fuente: Software Meteonorm 7.2

Tabla N° 9: Radiación solar promedio diaria<sup>59</sup>

Mes	Gh(kWh/m <sup>2</sup> )	días del mes	Gh(kWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	197	31	6,35
febrero	187	28	6,68
Marzo	205	31	6,61
Abril	187	30	6,23
Mayo	170	31	5,48
Junio	146	30	4,87
Julio	141	31	4,55
Agosto	155	31	5,00
Septiembre	174	30	5,80
Octubre	187	31	6,03
Noviembre	182	30	6,07
Diciembre	194	31	6,26

De la Tabla N° 9, se observa que el menor valor de radiación solar se da en el mes de julio con un valor de 4,55 kWh/m<sup>2</sup>/día

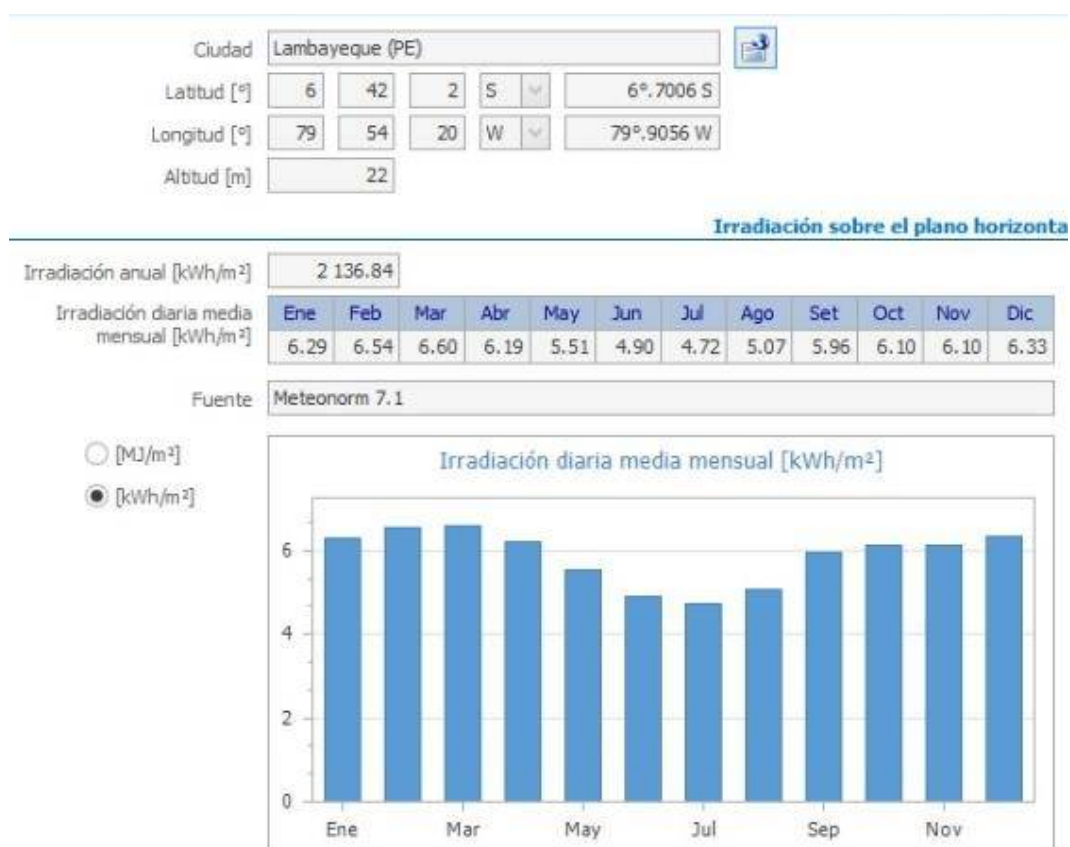
### **Software Solarius plus**

Haciendo uso del software Solarius Plus en la Tabla N° 10 se muestran los resultados. De donde se obtiene que el valor de la radiación solar más baja es de 6,15 kWh/m<sup>2</sup>/día

---

<sup>59</sup> Elaboración propia del autor

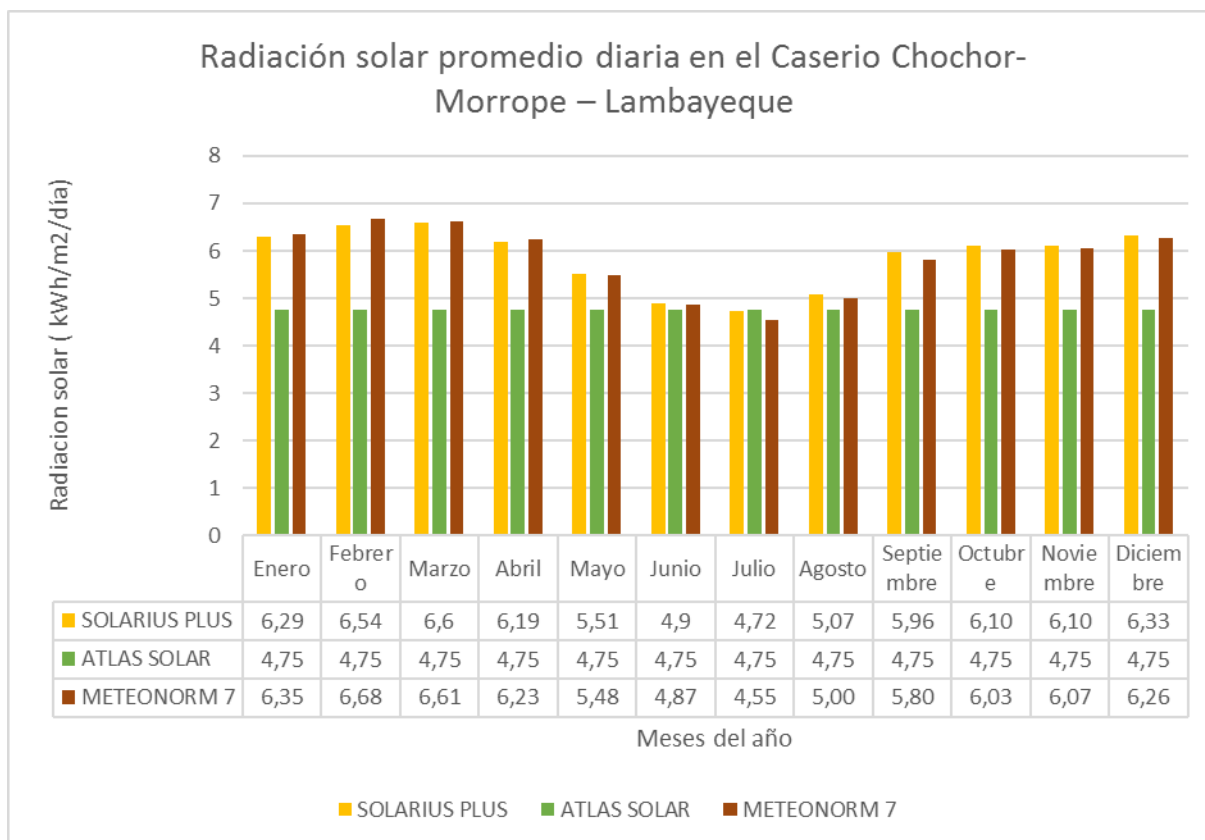
Tabla N° 10: Radiación solar en el departamento de Lambayeque con el software Solarius Plus



Fuente: Solarius plus

De la Tabla N° 10 se puede observar que la radiación solar más baja es de 4,55 kWh/m²/día, en el mes de julio.

Tabla N° 11: Comparación de las tres fuentes de radiación solar<sup>60</sup>



De la tabla N°11 se observa que el menor valor que toma la radiación solar es de **4,55 kWh/m²/día**, por lo cual este valor se usara para el dimensionamiento del sistema de bombeo de agua usando energía fotovoltaica.

## 5.2. Población actual y proyección para el caserío Chochor en Mórrope.

Para determinar la energía para el dimensionamiento se tendrá en cuenta que la vida útil de los paneles fotovoltaicos el cual es de 20 años por lo que se hace necesario proyectar la población considerando este número de años.

Para la proyección de las viviendas se tendrá en cuenta la tasa de crecimiento poblacional que se termina según la siguiente tabla N° 12

<sup>60</sup> Elaboración propia del autor



Tabla N° 12: Tasa de crecimiento poblacional<sup>61</sup>

DEPARTAMENTOS	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
PERU	1.7	1.6	1.5	1.3
COSTA				
Callao	2.6	2.3	2.1	1.8
Ica	1.7	1.5	1.3	1.2
La Libertad	1.8	1.7	1.5	1.3
Lambayeque	2.0	1.9	1.7	1.5
Lima	1.9	1.7	1.5	1.3
Moquegua	1.7	1.6	1.4	1.3
Piura	1.3	1.2	1.1	0.9
Tacna	3.0	2.7	2.4	2.1
Tumbes	2.8	2.6	2.3	2.0
SIERRA				
Ancash	1.0	0.9	0.8	0.7
Apurímac	0.9	1.0	1.0	1.0
Arequipa	1.8	1.7	1.5	1.3
Ayacucho	0.1	0.3	0.4	0.4
Cajamarca	1.2	1.2	1.1	0.9
Cusco	1.2	1.2	1.1	1.0
Huancavelica	0.9	1.0	0.9	0.9
Huánuco	2.0	1.8	1.7	1.6
Junín	1.2	1.2	1.0	0.9
Pasco	0.4	0.6	0.5	0.4
Puno	1.2	1.2	1.1	1.0
SELVA				
Amazonas	1.9	1.8	1.7	1.5
Loreto	2.5	2.2	2.0	1.9
Madre de Dios	3.3	2.9	2.6	2.3
San Martín	3.7	3.3	2.9	2.6
Ucayali	3.7	3.3	2.9	2.5

<sup>61</sup> [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaless/Est/Lib0015/cap-52.htm](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib0015/cap-52.htm)

Tabla N° 13: Tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque<sup>62</sup>

<b>Año</b>	<b>Tasa de crecimiento promedio anual (%)</b>
1995-2000	2,00 %
2000-2005	1,90 %
2005-2010	1,70 %
2010-2015	1,50 %
Promedio	1,78 %

De la tabla N° 13, consideramos el valor promedio, obteniendo un valor de: 1,78 %, proyectado para 20 años

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (7)$$

Donde:

Po: Población actual (45 habitantes)

P<sub>25</sub> : Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,78 %)

reemplazando en la ecuación (2) obtenemos que el número de habitantes proyectados para el año 20 es de:

$$P_{20} = 45x(1 + 0,0178)^{20} \approx 64 \text{ habitantes}$$

---

<sup>62</sup> Fuente: elaboración propia del autor

### 5.3. Requerimientos del sistema de bombeo

#### 5.3.1. Cálculo de la demanda de agua

Tabla N° 14: Necesidades de agua de personas<sup>63</sup> y animales<sup>64</sup>

Consumidor	Numero	Litros diario	Total de litros/diario
Vacuno	40	57	2 280,00
Aves de corral	200	0,23	46 ,00
Caballos y burros	15	50	750,00
Cabras	40	8	320,00
Personas	64	100	6 400,00
TOTAL (L/día)			9 750,00

Entonces según la Tabla N° 12, el  $Q = 9,75 \text{ m}^3/\text{dia}$



Figura N° 29: Ganado vacuno en el caserío Chochor<sup>65</sup>

<sup>63</sup> [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf)

<sup>64</sup> [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf)

<sup>65</sup> Fuente: elaboración propia



Figura N° 30: Burros en el caserío Chochor<sup>66</sup>



Figura N° 31: Aves de corral en el caserío Chochor<sup>67</sup>

<sup>66</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>67</sup> Fuente: elaboración propia del autor



Figura N° 32: Cabras en el caserío Chochor<sup>68</sup>

### 5.3.2. Carga dinámica total

Para el sistema de bombeo se consideran los siguientes datos:

Tabla N° 15: Datos de partida para el sistema de bombeo<sup>69</sup>

Nivel estático del agua <sup>70</sup>	30 m
Abatimiento	1,5 m
Altura de descarga	5,0 m
Distancia la deposito	6,0 m
Caudal	9 750 L/día

Ahora siguiendo el procedimiento de la guía para el desarrollo de bombeo de agua con energía fotovoltaica<sup>71</sup> tenemos lo siguiente:

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

<sup>68</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>69</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>70</sup> [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/evaluacion\\_recursos\\_chancay-lamb/evaluacion\\_recursos\\_hidricos\\_chancay-lambayeque.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/evaluacion_recursos_chancay-lamb/evaluacion_recursos_hidricos_chancay-lambayeque.pdf)

<sup>71</sup> (Paredes Rubio 2001)

CE = Nivel estático + Abatimiento + Altura de la descarga

$$CE = 30,0 \text{ m} + 1,5 \text{ m} + 5,0 \text{ m} = 36,5 \text{ m}$$

La carga dinámica (CD) se puede obtener por omisión<sup>72</sup>

10 % de la longitud total de tubería, entonces tenemos que es:  $CD = 0.1 \times L =$

$$0.1 \times (36,5 \text{ m} + 6 \text{ m})$$

$$= 0,1 \times 42,5 \text{ m} = 4,25 \text{ m}$$

Entonces,

$$CDT = CE + CD = 36,50 \text{ m} + 4,25 \text{ m} = 40,75 \text{ m} \approx 41 \text{ m}$$

### 5.3.3. Cálculo del caudal

Ahora sabemos que la cantidad de agua necesaria es de 9 750 L/día, para calcular el caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$ , tendremos que considerar las horas solar es decir 4,72 h entonces tenemos un caudal de:

$$Q_{promedio} = \frac{9,75}{4,55} \text{ m}^3/\text{h} \approx 2,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 5.3.4. Cálculo de la potencia de la bomba sumergible

El cálculo del consumo energético estimado nos muestra la demanda que tendrá nuestra instalación. Dentro del consumo de energía se debe tener en cuenta el autoconsumo que realizan los aparatos electrónicos como el regulador de carga en caso de usar baterías. No obstante, el

---

<sup>72</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001.

autoconsumo que realizan estos equipos suele ser del valor del 1% del total de la energía consumida.

$$E_{requerida} = \frac{V_{olumen} H}{367 n_{bomba}} \dots (6)$$

Volumen : Volumen en litros (L): 9 750 L

Altura de impulsión (H): 41,0 m

Rendimiento de la bomba en este punto de funcionamiento ( $\eta$ ): 0,50

Con estos valores, y sustituyéndolos en la expresión anterior, se obtiene un consumo energético de:

Reemplazando los datos

$$E_{requerida} = \frac{(9\,750)(41)}{367(0,5)} \approx 2,18 \text{ kWh/día}$$

#### 5.3.4.1. Dimensionamiento de la bomba sumergible LORENTZ

Para poder seleccionar la bomba apropiada hay que considerar:

$Q = 2,10 \text{ m}^3/\text{h}$

$H = 41 \text{ m}$ .

$$P_{bomba} = \frac{\gamma Q_{promedio} H_{EB}}{n_b} \dots (7)$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos.

$$P_{bomba} = \frac{(9800)(2,10/3600)(41)}{0,5} = 468,77 \text{ W}$$

Entonces con los datos del caudal y la altura total seleccionamos una bomba sumergible que cumpla con estos requerimientos y además que sea de una marca reconocida

### **Selección de la bomba**

Seleccionamos la bomba LORENTZ PS2- 600 HR-14 (ANEXO 01) el cual se ha seleccionado en base a los resultados de altura y caudal calculado en la sección anterior.



Figura N° 33: bomba<sup>73</sup> LORENTZ PS2- 600 HR-14

---

<sup>73</sup> <https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/09/PS2-600-HR-14.pdf>



## PS2-600 HR-14

Solar Submersible Pump System for 4" wells

### Pump Chart

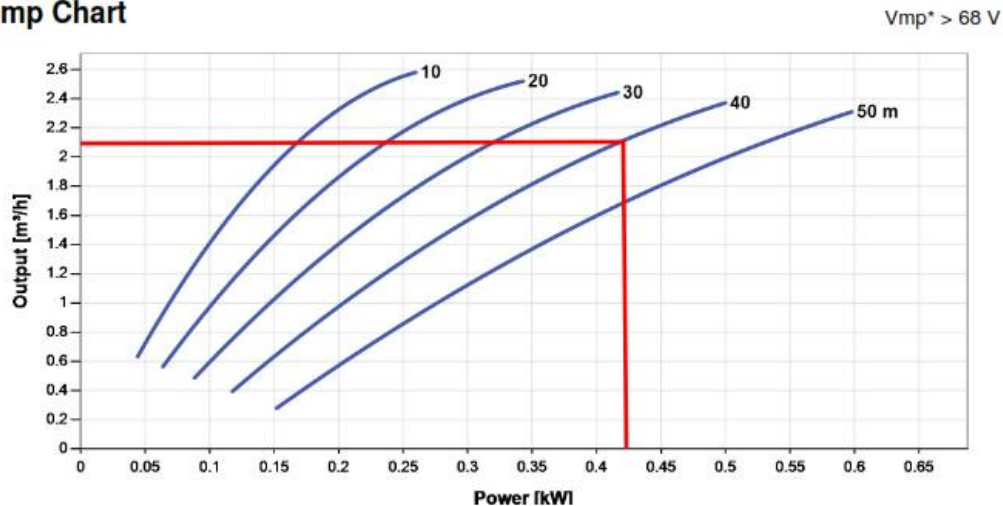


Figura N° 34: Curva característica de la bomba seleccionada<sup>74</sup>

### 5.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

#### 5.3.5.1. Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

Con la finalidad de determinar la potencia el generador fotovoltaico y la potencia, hay que considerar las pérdidas ocasionadas en el controlador, perdidas de potencia por efecto joule en los conductores, no trabajar en el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, etc. Para facilitar el cálculo de la potencia del generador estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que recoge el

<sup>74</sup> <https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/09/PS2-600-HR-14.pdf>

rendimiento energético de la instalación; para el caso de sistemas con regulador se considera<sup>75</sup>: 0,7

$$E_{elec} = \frac{E_{requerida}}{0,7} \dots (8)$$

$$E_{elec} = 2,18/0,7 = 3,114 \text{ kWh/dia}$$

$$Pot = \frac{E_{elec}}{HSP} = 0,684 \text{ kW}$$

Consideramos trabajar con paneles de marca conocida como son los paneles fotovoltaicos YINGLI SOLAR y SIMAX, para determinar la potencia del módulo fotovoltaico habría que considerar los precios de cada uno de los módulos fotovoltaicos y también hay que considerar los datos técnicos de la bomba

## Technical Data

### Controller PS2-600

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- Battery operation: Integrated low voltage disconnect

Power	max. 0,70 kW
Input voltage	max. 150 V
Optimum Vmp**	> 68 V
Motor current	max. 13 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-40...50 °C
Enclosure class	IP68

Figura N° 35: Datos técnicos del controlador de la bomba<sup>76</sup>

<sup>75</sup> (Agustin Castejon s.f.)

<sup>76</sup> <https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/09/PS2-600-HR-14.pdf>

De los datos técnicos del controlador tenemos que la tensión mínima  $V_{mp}$  del controlador es de 68 V y como máximo 150 V

Con respecto de la potencia del panel fotovoltaico se consideramos el criterio económico obteniendo la siguiente tabla

Tabla N° 16: Posibles configuraciones de paneles fotovoltaicos<sup>77</sup>

Marca	potencia del modulo fotovoltaico	Costo del modulo fotovoltaico (S/.)	Vmp	Vmp-Gf	modulos en serie	Ramas en paralelo	Total de modulos fotovoltaicos	Vmax	costo total	potencia del generador fotovoltaico (kWp)
yingli solar	120	520,83	36,1	72,2	2	3	6	91,4	3124,98	0,72
yingli solar	150	629,33	30,2	90,6	3	2	6	113,4	3775,98	0,90
yingli solar	200	875,18	30,4	91,2	3	2	6	116,7	5251,08	1,20
yingli solar	320	1200,28	30,6	91,8	3	1	3	116,1	3600,84	0,96
simax	50	229,6	35	70	2	7	14	85,4	3214,40	0,70
simax	100	393,6	35,5	71	2	4	8	86,6	3148,80	0,80
simax	140	524,8	35,5	71	2	3	6	86,6	3148,80	0,84
simax	150	590,4	36	72	2	3	6	87,8	3542,40	0,90
<b>simax</b>	<b>190</b>	<b>721,6</b>	<b>36,5</b>	<b>73</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>89</b>	<b>2886,40</b>	<b>0,76</b>

De la tabla N° 18, se tiene que la potencia de los paneles fotovoltaicos a usar es de 190 Wp de la marca SIMAX

**El número de paneles solares que hay que colocar en serie** para determinar el número de paneles solares en serie hay que considerar la bomba sumergible LORENTZ tiene una tensión mínima para su funcionamiento de 68 V. La tensión  $V_{mp}$ .

A partir de este dato el número de paneles en serie se obtiene con la siguiente ecuación:

$$N_{smf} > V_{de\ trabajo} / V_{mp,modulof} \dots (9)$$

$$N_{smf} > 68/36,0 \approx 2 \text{ paneles solares}$$

<sup>77</sup> Elaboración propia del autor

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

**El número de ramas en paralelo** de módulos se calculará con la siguiente ecuación:

$$N_{Pmf} = 660 / (190 \times 2) = 1,74 \approx 2 \text{ ramas en paralelo}$$

*Entonces el generador fotovoltaico estara conformado  
por 4 paneles solares SIMAX de 190 Wp*

### **Verificación por corriente eléctrica**

La corriente eléctrica máxima que proporciona el generador fotovoltaico debe ser menor que la máxima corriente eléctrica del controlador

$$I_{\max} \text{ del controlador} = 13 \text{ A (De la figura N° 35)}$$

$$I \text{ máximo del generador fotovoltaico} = 1. I_{sc} = 2(5,52) = 11,04 \text{ A}$$

$$\text{De donde } 13 \text{ A} > 11,04 \text{ A} \quad \text{OK}$$

## Verificación por potencia del generador fotovoltaico

Tabla N° 17: Prestaciones de las bombas sumergibles LORENTZ<sup>78</sup>

### **Prestaciones**

PS600	HR-03	HR-03H	HR-04	HR-04H	HR-07
Artículo N°	1040-X	1045-X	1050-X	1055-X	1060-X
Altura de transporte [m]	0-140	140-180	0-80	80-140	40-90
Caudal máx. [m³/h]	0,5	0,5	0,8	0,8	1,2
Rendimiento máx. [%]	60	64	60	65	64
Funcionamiento solar	tensión nominal 48-72V CC, tensión en vacío máx. 150V CC				
Generador solar [Wp]	300-480	420-900	300-480	420-900	420-900
Funcionamiento con baterías	tensión nominal 48V CC				

PS600	HR-10	HR-14	HR-20	C-SJ5-8	C-SJ8-5
Artículo N°	1065-X	1070-X	1080-X	1292	1293
Altura de transporte [m]	30-60	0-50	0-30	0-25	0-18
Caudal máx. [m³/h]	1,9	2,7	3,6	7,5	11,0
Rendimiento máx. [%]	64	65	64	47	47
Funcionamiento solar	tensión nominal 48-72V CC, tensión en vacío máx. 150V CC				
Generador solar [Wp]	420-900	300-900	420-900	300-900	300-900
Funcionamiento con baterías	tensión nominal 48V CC				

De la tabla N° 19 tenemos que la potencia del generador fotovoltaico recomendado para la bomba LORENTZ PS 600 HR-14, es de 300 a 900 Wp  
Ahora la potencia del generador fotovoltaico que hemos obtenido es de:

$$190 \times 4 = 760 \text{ Wp} \quad \text{OK}$$

### **5.3.5.2. Dimensionamiento de los conductores eléctricos**

Los tramos de cables en corriente continua serán tramos compuestos de dos conductores activos (positivo y negativo) más el conductor de protección.

<sup>78</sup> PS600 HR/C-Techno Sun.pdf

Para el cálculo de la sección (S) de conductores en corriente continua, como es éste el caso de las instalaciones fotovoltaicas, se empleará la siguiente formulación:

$$Seccion\ del\ conductor\ electrico\ en\ mm^2 = \left( \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot \Delta v} \right) \cdot (10) \quad (10)$$

Donde:

S: es la sección del conductor del cable en continua, en  $mm^2$

L: es la longitud del tramo de conductor que se esté considerando, en m

I: es la intensidad de corriente que circula por el conductor, en amperios (A)

$\Delta U$ : es la caída de tensión máxima permitida en el tramo, en voltios (V)

K: es la conductividad del conductor del cable (56 Cu; 35 Al)

En la tabla N° 20, siguiente se muestra la caída de tensión máximas y recomendadas para cada tramo de una instalación de bombeo de agua utilizando sistema fotovoltaico.

Tabla N° 18: Porcentajes de caída de tensión<sup>79</sup>

Tramo	Caída de tensión máxima	Caída de tensión recomendada
Panel -regulador	3 %	1 %
Regulador-bomba Superficial	5 %	3%

<sup>79</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Aplicaremos el criterio de caída de tensión y capacidad de corriente para seleccionar el conductor eléctrico adecuado

proponemos el uso de conductores NYY de la siguiente tabla:

Tabla N° 19: Conductores eléctricos<sup>80</sup> NYY



**TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX**

CALIBRE N° x mm²	N° HILOS	ESPEORES		DIÁMETRO EXTERIOR mm	PESO (Kg/Km)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

El cableado eléctrico se compone de dos tramos:

**Tramo 1:** desde la caja de conexión de los módulos solares hasta el regulador de carga.

Los valores que toman para este tramo los distintos parámetros que se emplearán para el cálculo de la sección mínima de cable conductor, serán los siguientes:

<sup>80</sup> <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>

$L = 6,0 \text{ m}$ , es la longitud que recorre el cable desde la salida de la caja de conexión de los módulos solares hasta el regulador de carga.

$$I_{\text{tramo } 1} = 1,25 \times I_{CC \text{ mf}} \times N_{\text{rmp}} \dots (11)$$

$$= 1,25 \times 2 \times 5,52 \times 1 = 13,80 \text{ A}$$

Que se corresponde con la intensidad máxima que puede circular por este tramo.

$N_{\text{rmp}}$ : es el número de ramas de paneles fotovoltaicos en paralelo

$\Delta U = 36,5 \times 4 \times 0,01 = 1,44 \text{ V}$ , que es la caída de tensión máxima permitida en este tramo.

$K = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ , que es la conductividad del cobre, material del que está hecho el conductor del cable para este tramo.

Estos valores sustituidos en la ecuación (10) dan como resultado una sección mínima de cable para el *tramo 1* de:

$$S_{\text{tramo } 1} = 5,16 \text{ mm}^2$$

Ahora según la tabla N° 7, la sección normalizada es de: **6,0 mm<sup>2</sup>**.

**Tramo 2:** *Regulador de carga hasta el motor eléctrico de la bomba superficial:*

Los valores que toman para este tramo los distintos parámetros que se emplearán para el cálculo de la sección mínima del cable conductor, serán los siguientes:

$L = 36 \text{ m}$ , es la longitud que recorre el cable de caída desde la salida del regulador hasta los bornes de entrada al motor eléctrico de la bomba superficial.



$\Delta U = 2,16 \text{ V}$ , que se corresponde con la caída de tensión máxima permitida para este tramo.

Sustituyendo estos valores en la ecuación (13) la sección de cable, resulta una sección mínima para el *tramo 2* de:

$$S_{\text{tramo2}} = 7,23 \text{ mm}^2$$

Ahora según la tabla N° 7, la sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **10,0 mm<sup>2</sup>**.

$$I_{MAX \text{ bomba}} = 1,25 \times P_{motor} / V \dots (12)$$

Donde:

$I_{MAX}$  = Corriente máxima en el tramo (A).

$P_{motor}$  = Potencia máxima del motor de la bomba (w)

$V_n = 72 \text{ V}$

$$I_{MAX} = 1,25 \times \frac{700}{72}$$

$$I_{MAX} = 12,15 \text{ A}$$

### **Cableado de protección:**

Para la protección y seguridad de la propia instalación, habrá que instalar un cable adicional, además de los cables activos (positivo y negativo), que será el cable de protección y que servirá para conectar todas las masas metálicas de la instalación con el sistema de tierra, con el objetivo de evitar que aparezcan diferencias de potencial peligrosas, y al mismo tiempo permita descargar a tierra las corrientes de defectos o las debidas por las descargas de origen atmosférico.

El cable de protección será del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación, en este caso de cobre, e irán alojados todos los cables por el mismo conducto para su protección.

La sección que debe tener el conductor de protección en función de la sección de los conductores activos viene dada por la siguiente tabla.

Tabla N° 20: Sección mínima de los conductores de protección<sup>81</sup>

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

Tabla N° 21: Sección del conductor de protección<sup>82</sup>

TRAMO	Sección del conductor activo (mm <sup>2</sup> )	Sección del conductor de protección (mm <sup>2</sup> )
PANELES-REGULADOR	6,0	6,0
REGULADOR-BOMBA SUMERGIBLE	10,0	10,0

### 5.3.5.3. Elementos de protección

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

**Protección del generador fotovoltaico:** De los cálculos realizados se tienen 2 grupos de dos módulos conectados en serie por lo que es necesario una protección contra corrientes inversas en cada rama, como la

<sup>81</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

<sup>82</sup> Fuente: elaboración propia del autor

caja de conexiones del generador fotovoltaico tiene fácil acceso para mantenimiento, se opta por fusibles en bases portafusibles seccionables: Se utilizarán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo *gPV 1000V DC* de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca **DF Electric** (ANEXO 04) Entonces, que para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

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

siendo,

$I_b$  la intensidad de corriente que recorre la línea.

$I_n$  la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

$I_{adm}$  es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.

Tabla N° 22: Selección de fusibles<sup>83</sup>

Generador - fotovoltaico - Controlador	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $13,80 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (62)$ $13,80 \leq I_n \leq 55,8$ $I_n = 16 \text{ A}$
Controlador- Bomba	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $12,16 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (85)$ $12,16 \leq I_n \leq 76,50$ $I_n = 16 \text{ A}$

<sup>83</sup> Fuente: elaboración propia del autor

#### 5.3.5.4. Ángulo óptimo de inclinación

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:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \dots (13)$$

donde:

$\beta_{opt}$ : Ángulo de inclinación óptimo

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

sabiendo que la latitud es de  $-6,54^\circ$ .

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,54^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 8,21^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de  $8,21^\circ$  y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día, consideraremos  $15^\circ$  para evitar la acumulación de polvo y humedad.

#### 5.3.6. Tanque de almacenamiento

Asumiendo un tanque de base cuadrada, su volumen está dado por:

$$V = L^2 \cdot h \dots (14)$$

donde L es la longitud del lado del cuadrado de la base.

h es la altura del tanque.

Considerando 2 días de autonomía entonces el volumen del tanque será de 19,50 m<sup>3</sup>. Si la altura del tanque es de 3 m entonces la longitud del lado de la base es de 2,55 m ≈ 2,60 m. En la práctica los tanques tienen cierta elevación sobre el suelo, de manera que asumiremos que la base estará ubicada 2 m por sobre el nivel del suelo. La altura de la salida que alimenta al tanque deberá superar el nivel del agua:

$$1 \text{ m} + 3 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

### 5.3.7. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico para bombeo de agua

#### 5.3.7.1. Costo del sistema de bombeo fotovoltaico

Considerando la propuesta de reemplazar el sistema de bombeo actual por el sistema de bombeo fotovoltaico entonces tenemos:

Tabla N° 23: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico

DESCRIPCIÓN	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 bomba sumergible LORENTZ PS2- 600 HR-14 +CONTROLADOR	7 692,00	7 692,00
04 paneles solares SIMAX 190 Wp	721,00	2 884,00
01 estructura para 04 paneles solares	1 162,18	1 162,18
Accesorios	1 000,00	1 000,00
Tanque de almacenamiento	8 000,00	8 000,00
Total, del Suministro		20 738,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24: Costo de inversión de la propuesta

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL (S/.)</b>
SUMINISTRO	20 738,00
TRANSPORTE	1 036,90
MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	2 073,80
COSTO DIRECTO	23 848,70
GASTOS GENERALES	2 384,87
SUB TOTAL SIN IGV	26 233,57
IGV	4 722,04
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>30 955,61</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones

- a) Se determinó que la demanda de agua es de 9 750 L /día, considerando los 64 habitantes proyectadas y animales.
- b) La radiación solar promedio mensual según el atlas del SENAMHI es de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día, del software SOLARIUS PLUS con un valor mínimo de 4,55 kWh/m<sup>2</sup>/día y del software METEONORM con un valor mínimo de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>/día se consideró de las tres fuentes el menor valor de radiación solar 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día para el cálculo del generador fotovoltaico.
- c) La Bomba sumergible **LORENTZ PS2- 600 HR-14** incluido controlador, cuyos datos técnicos se encuentran en el ANEXO 01; 04 paneles solares de la marca SIMAX de 190 Wp
- d) El presupuesto referencial del sistema fotovoltaico para el bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica es S/. 30 955,61.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 2) Alata Rey, Josue Eliezer. *Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares- caso UNALM*. Lima, 2015.
- 3) Cabrera peña, Ignacio, y Rigoberto Fermin Montiel. «Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua.» Mexico, 2003.
- 4) Campuzano Bautista, Luis David, y Carlos Javier Campuzano Bautista. *Estudio de perfil de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio Dirimaba*. Managua, 2016.
- 5) Canales Ciudad, Carlos. «Guia solar fotovoltaica 2012.» 2012.
- 6) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 7) Cerdan Cabrera, Ana Maria. «Diseño de un sistema solar eolico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya Veracruz Mexico.» Veracruz, 2011.
- 8) Cespedes Molano, Luis Ernesto. «Evaluacion tecnica y diagnostico de la calidad de la nergia electrica en la planta Quala S.A.» Bogota, 2007.
- 9) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 10) Energia Innovadora. «Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua.» 2017.
- 11) FOTOVOLTAICA, ENERGIA. «manual sobre tecnologías, proyecto e instalacao .» s.f.
- 12) Heras Sanchez, Miguel Armando. «Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC.» Ecuador, 2017.
- 13) Hernandez Quijaite, Luis Eugenio. «Bombeo de agua con energia solar en el departamento de Ica.» Ica, s.f.
- 14) Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.
- 15) Joachin Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.



- 16) Lima Solares, Job Lizardo. «Control electrónico de un sistema de bombeo de agua accionado por energía solar.» 1997.
- 17) Maldonado Rodas, Eddi Alberth. «Paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en el departamento de quiché.» 2011.
- 18) 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.
- 19) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.» Lima, 2005.
- 20) Natael Elenes, Felix. «Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora.» Sonora, 2012.
- 21) Natanael Elenes, Felix. «Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora.» 2012.
- 22) Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001.
- 23) Salmeron Rodrigues, David Antonio, y Jimmy Aexander Blando Rivas. «“ESTUDIO DE PREINVERSION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE JINOTEPE”.» Managua, 2014.
- 24) SENAMHI. «Atlas de energía solar del Perú.» 2003.
- 25) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.

## **ANEXOS**

**ANEXO 01. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUMERGIBLE PS2-600 HR-14  
LORENTZ**

**ANEXO 02. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SIMAX  
DE 190 Wp**

**ANEXO 03. CATALOGO DE CABLES NYY**

**ANEXO 04. CATALOGO DE FUSIBLES**

**ANEXO 05. PLANO DE EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE  
BOMBEO**

**ANEXO 06. PLANO DE MONTAJE DE PANELES SOLARES**