



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS MOTORES PARA  
EL BOMBEO DE AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA - MONSEFÚ**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTOR:**

**Bach. CRISTHIAN JUNIORS RAMÍREZ GONZALES**

**ASESOR:**

**Ing. OSCAR UCHELLY ROMERO CORTEZ**

**LAMBAYEQUE- PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS MOTORES PARA  
EL BOMBEO DE AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA – MONSEFÚ**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**SUSTENTADA POR:**

---

**Bach. CRISTHIAN JUNIORS RAMÍREZ GONZALES**  
AUTOR

**ASESORADO POR:**

---

**Ing. OSCAR UCHELLY ROMERO CORTEZ**  
ASESOR

**LAMBAYEQUE, PERÚ**  
**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS MOTORES PARA  
EL BOMBEO DE AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA - MONSEFÚ**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

---

**Ing. MANUEL JAVIER RAMÍREZ CASTRO**  
PRESIDENTE

---

**Ing. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA**  
SECRETARIO

---

**Ing. MARTIN AUGUSTO NOMBERRA LOSSIO**  
VOCAL

**LAMBAYEQUE, PERÚ**  
**2019**

# Agradecimientos

**A** Dios por protegernos siempre y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de nuestras vidas.

Un agradecimiento infinito a mis padres: Carlos y Jackeline por su amor, trabajo, paciencia y sacrificios en todos estos años; gracias a ustedes he logrado llegar aquí y convertirme en lo que hoy soy.

A mis hermanos: Valentín y Frank, por su apoyo incondicional, su motivación y por compartir este sueño conmigo y que me vean un ejemplo y motivación para sus vidas.

A Katya, mi primer amor que ha estado siempre en las buenas y en las malas, brindándome siempre su apoyo y motivándome siempre para seguir adelante.

A mis tíos y amigos, quienes compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos 5 años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

El Autor

# Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a mi pequeño Levin quien desde que nació es mi motor y motivo para iniciar esta hermosa travesía en el mundo de la ingeniería.

A mi abuelo Santos y mi hermano Jordan que pese haberlos perdido, han estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

El Autor

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo estudiar la factibilidad de diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los motores utilizados para el bombeo de agua en el sector agrícola en el distrito de Mosnefú cuyo diseño se centró en un sistema directo (sin baterías) que funcionará en momentos de presencia solar, los módulos seleccionados sumaran una potencia pico de 1800W que alimentara una bomba sumergible de 1000W

Para diseñar este sistema de bombeo solar se estudió y recopiló información sobre los fundamentos teóricos de Energía solar y Energía Hidráulica como base fundamental de nuestro proyecto de investigación así como también proyectos ya realizados sobre bombeo solar; se inició indicando el diseño del sub-sistema hidráulico, compuesto por el motor y la bomba (bomba superficial de 1000 W) , posteriormente el diseño del sub-sistema fotovoltaico (6 módulos fotovoltaicos 260 W ) compuesto por los módulos solares y finalmente el sub-sistema de control, conformado por baterías y controladores de carga.

Como resultado de la investigación se obtuvo que es necesario implementar un sistema de bombeo compuesto por una bomba sumergible de tipo centrífuga con motor sumergible en DC, especial para uso fotovoltaico; la potencia eléctrica requerida a considerar sobre el recurso solar de Lambayeque será de 1400W, por lo que se seleccionó 6 módulos de 260W que le proveen una potencia pico instalada de 1560W-p, la energía eléctrica será entregada a 24V en corriente continua (DC), no se utilizará un sistema de baterías para disminuir costos del sistema, por lo que se almacenara agua en tanque de 2500l.

Por lo tanto se concluye que el sistema a implementar utilizará 6 Módulos Fotovoltaicos de 260W SUNMODULE SW 260 POLY, 1 Bomba Sumergible de 1000W CRI Pumps Modelo G4P-4B / A00, 1 Regulador de carga de 1600W TriStar MPPT™ 60 A, 1 Acumulador de agua de 2600 l Rotoplast y el costo aproximado de la implementación del sistema es de S/. 10 500.00, el análisis económico muestra que el proyecto es factible, arrojando un VAN de 1734.59, un TIR de 19% y un PAYBACK de 4.99.

## ABSTRACT

This thesis aims to study the feasibility of designing a photovoltaic system to meet the energy demand of the engines used for pumping water in the agricultural sector in the Mosnefú district whose design focused on a direct system (without batteries ) that will work in moments of solar presence, the selected modules will add a peak power of 1800W that will feed a submersible pump of 1000W

To design this solar pumping system, information on the theoretical foundations of Solar Energy and Hydraulic Energy was studied and gathered as the fundamental basis of our research project as well as projects already carried out on solar pumping; It began by indicating the design of the hydraulic sub-system, consisting of the motor and the pump (1000 W surface pump), then the design of the photovoltaic sub-system (6 260 W photovoltaic modules) composed of the solar modules and finally the sub -control system, consisting of batteries and charge controllers.

As a result of the investigation, it was obtained that it is necessary to implement a pumping system composed of a submersible centrifugal pump with DC submersible motor, especially for photovoltaic use; The electrical power required to consider on the Lambayeque solar resource will be 1400W, so 6 260W modules were selected that provide an installed peak power of 1560W- p, the electric power will be delivered at 24V in direct current (DC) , a battery system will not be used to reduce system costs, so water will be stored in a 2500l tank.

Therefore it is concluded that the system to be implemented will use 6 260W SUNMODULE SW 260 POLY PV Modules, 1 1000W CRI Pumps Submersible Pump Model G4P-4B / A00, 1 1600W TriStar MPPT <sup>TM</sup> 60 A Charge Regulator, 1 Accumulator water of 2600 l Rotoplast and the approximate cost of the implementation of the system is S /. 10,500.00, the economic analysis shows that the project is feasible, yielding a NPV of 1734.59, an IRR of 19% and a PAYBACK of 4.99.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos.....	2
1.5 HIPÓTESIS.....	3
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	5
2.2 ENERGÍA SOLAR Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	6
2.2.1 Energía Solar.....	6
2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica y Sistemas Fotovoltaicos (PV).....	11
2.3 SISTEMAS DE BOMBEO.....	15
2.3.1 Bombeo.....	15
2.3.2 Bombeo solar fotovoltaico.....	16
<b>3 LUGAR DE ESTUDIO.....</b>	<b>23</b>
3.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	23
3.2 DEMANDA DE AGUA.....	26
<b>4 DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>27</b>
4.1 SUB-SISTEMA HIDRÁULICO.....	27
4.1.1 Caudal Necesario.....	27
4.1.2 Altura de bombeo.....	28
4.1.3 Energía Hidráulica.....	31
4.1.4 Dimensionamiento de La Bomba.....	33

4.1.5	Dimensionamiento de las Tuberías.....	34
4.2	SUB-SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	35
4.2.1	Energía Solar Disponible.....	35
4.2.2	Dimensionamiento del Sub-Sistema Fotovoltaico.....	36
4.2.3	Conductores.....	37
4.3	SUB-SISTEMA DE CONTROL Y ALMACENAMIENTO.....	39
4.3.1	Regulador de Carga.....	39
4.3.2	Protecciones.....	39
<b>5</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
5.1	SUB-SISTEMA HIDRÁULICO.....	41
5.1.1	Energía Hidráulica Requerida.....	41
5.1.2	Configuración y selección de Motor-Bomba.....	43
5.1.3	Tuberías.....	45
5.1.4	Otros.....	45
5.2	SUB-SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	47
5.2.1	Cálculo de demanda eléctrica.....	47
5.2.2	Energía Solar Disponible.....	47
5.2.3	Módulos Fotovoltaicos.....	48
5.3	SUB-SISTEMA DE CONTROL.....	49
5.3.1	Regulador de carga.....	49
5.3.2	Conductores.....	50
5.3.3	Protecciones.....	53
5.4	SUB-SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA.....	55
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
7.1	RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN.....	56
7.1.1	Instalación.....	56
7.1.2	Mantenimiento.....	56
7.2	CONCLUSIONES.....	61
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Espectro de la radiación solar .....	6
Figura 2: Matriz energética del Perú. ....	10
Figura 3: Componentes de un sistema fotovoltaico (PV).....	13
Figura 4: Celda Solar .....	15
Figura 5: Arreglo de bombeo solar típico. ....	17
Figura 6: Bomba centrífuga.....	18
Figura 7: Bomba sumergible de tipo centrífuga, en el lado superior derecho se muestra la bomba desmontada, en el lado derecho al medio el motor desmontado, y al inferior derecho el variador de frecuencia. ....	21
Figura 8: Monsefú.....	23
Figura 9: a) Ubicación del terreno agrícola en Monsefú, b) Vista satelital del terreno indicando sus límites.....	24
Figura 10: Frente del terreno agrícola.....	25
Figura 11: Demanda de agua.....	26
Figura 12: Pozo tubular.....	28
Figura 13: Flujo de la energía en el sistema.....	31
Figura 14: Diagrama de potencias para bombas. ....	33
Figura 15: Manómetro.....	46
Figura 16: Válvula.....	46
Figura 17: Características del módulo PV. Fuente: Data Sheet Módulo PV.....	49
Figura 18: Llave termomagnética. ....	54
Figura 19: Acumulador de agua. ....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potenciales de distintas fuentes renovables.....	8
Tabla 2: Radiación solar en departamentos de Perú.....	9
Tabla 3: Definiciones de la energía solar .....	11
Tabla 4: Ventajas y desventajas de la energía solar. ....	12
Tabla 5: Valores de C para distintos materiales. ....	30
Tabla 6: Configuraciones motor-bomba, .....	32
Tabla 7: Capacidad de los conductores .....	38
Tabla 8: Capacidad de los conductores .....	38
Tabla 9: Parámetros para cálculo de la altura dinámica. ....	42
Tabla 10: Parámetros para cálculo de la energía hidráulica .....	43
Tabla 11: Parámetros para cálculo de la potencia de la bomba.....	44
Tabla 12: Curvas para selección de la bomba. ....	44
Tabla 13: Características de las bombas. ....	45
Tabla 14: Radiación solar en Lambayeque. ....	48
Tabla 15: Características del regulador.....	50
Tabla 16: Parámetros para el cálculo del conductor.....	51
Tabla 17: Parámetros para el cálculo del conductor.....	52
Tabla 18: Requisitos de los conductores Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 19: Conductores seleccionados. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 20: Conductor a tierra.....	53
Tabla 21: Características de los fusibles .....	53
Tabla 22: Presupuesto Tentativo del Sistema.....	58
Tabla 23: Datos para el análisis económico. ....	58
Tabla 24: Flujo de caja .....	59
Tabla 25: Resultados del análisis económico.....	59

# 1 INTRODUCCIÓN

---

“ El agua es crítica para el desarrollo sostenible, incluyendo la integridad del medio ambiente y el alivio de la pobreza y el hambre, y es indispensable para la salud y bienestar humanos ”

NACIONES UNIDAS

**E**n este capítulo sentaremos las bases del trabajo a realizar, haremos una descripción de la situación problemática y la justificación de la investigación, lo que nos llevará a formular el problema, sentar una hipótesis y formular los objetivos de la investigación.

## 1.1 SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El agua es un recurso fundamental para la calidad de vida y el desarrollo de una sociedad, más aún en el caso de las sociedades y países que son agrícolas por naturaleza, como el Perú.

El acceso al agua es complicado en muchas regiones del país, es especial en las zonas desérticas (como Lima y la costa del Perú) pero más aún en donde la disponibilidad de la energía eléctrica de la red es inaccesible o limitada, como lo son las zonas rurales.

Las estadísticas del Ministerio de Agricultura (MINAG), indican que en el Perú alrededor de la tercera parte de la población vive en las zonas rurales, cuyos ingresos dependen del 50% de la agricultura, además se estima que el área de riego en el país está representado por un 70% bajo secano, 26.9% bajo riego por gravedad, 2% bajo riego tecnificado y 0,7% a través de la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos, bajo estas circunstancias alrededor de 10 millones de peruanos aplican una tecnología de bombeo y riego ineficiente que trae como consecuencia un bajo nivel de competitividad que se refleja en una baja productividad principalmente de la sierra y selva del Perú.

La topografía accidentada de la sierra hace que las comunidades rurales en el Perú sean de difícil acceso, además sus poblaciones y viviendas dispersas con bajo consumo eléctrico determina que los proyectos de electrificación sean poco rentables y por ende no tengan acceso a esta energía; por otro lado, debido al desconocimiento de otro tipo de fuente de energía, las comunidades agrícolas se ven obligadas a esperar la época de lluvia, que sucede una vez al año, para cultivar. (HIVOS, Soluciones Prácticas, & CNV, 2013)

El uso de energías provenientes de combustibles como el petróleo que es utilizado en los generadores de energía, es el más ampliamente método difundido para la extracción y traslado

del agua hasta los lugares de almacenamiento y consumo. Lo anterior implica por lo general costo de operación y mantenimiento sumamente altos, que en muchas ocasiones no pueden ser pagados por los usuarios. Este tipo de situaciones somete a muchas comunidades a los estragos de la sequía, o bien a utilizar fuentes de aguas superficiales altamente perjudiciales para la salud.

Actualmente en el sector agrícola Monsefú, provincia de Chiclayo, del departamento de Lambayeque, existe una zona agricultora por lo que necesita usar diversas fuentes de agua, recurso que a veces escasea afectando la zona agricultora.

Por lo expuesto antes, en la presente tesis se analizará técnicamente el diseño de un sistema de bombeo que usa, para su funcionamiento, energía solar fotovoltaica, en la localidad del sector agrícola Monsefú que se encuentra en el distrito de Monsefú, provincia de Lambayeque, del departamento de Lambayeque, con el fin de satisfacer la necesidad de agua del sector.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo realizar un estudio y diseño de un sistema fotovoltaico que pueda satisfacer la demanda de energía de los motores para el bombeo de agua en el sector agrícola-Monsefú?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las tecnologías fotovoltaicas tienen un gran potencial para la generación de energía y ya ha sido comprobado ser de gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares apartados.

El bombeo de agua basado en la tecnología fotovoltaica es una aplicación de mucha importancia en el mundo: tiene especial impacto en comunidades rurales donde no hay suministro de energía eléctrica por medios convencionales, además no requieren de un operador y su impacto ambiental es muy bajo.

El sector agrícola Monsefú posee un recurso solar que lo hace factible la instalación en él de sistemas fotovoltaicos, el cual pueda abastecer la demanda energética para bombeo de agua.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Estudiar la factibilidad de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los motores utilizados para el bombeo de agua en el sector agrícola Monsefú.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Describir los fundamentos teóricos de la tecnología solar fotovoltaica para el bombeo de agua.

- Determinar el recurso solar local.
- Dimensionar el sistema hidráulico.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Dimensionar el sistema de almacenamiento de agua o energía.
- Seleccionar los equipos
- Realizar un análisis de factibilidad económica del sistema.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Un sistema fotovoltaico satisfará la demanda energética de los motores utilizados para el bombeo de agua del sector agrícola Monsefú.

## 2 MARCO TEÓRICO

---

El proyecto a desarrollar es una aplicación de tecnología ya existente, es por eso que en el presente capítulo mencionaremos proyectos que se han realizado anteriormente y sirven como base para nuestro trabajo. Posteriormente describiremos las bases teóricas en las que se fundamenta la presente tesis, desde el concepto de energía solar hasta el funcionamiento del bombeo solar fotovoltaico.

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

a) En *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas* (Arija Gonzales, 2010) en la Universidad Carlos III de Madrid en España se expone de manera clara y ejemplificada buena parte de la información necesaria para la puesta en marcha y simulación de un sistema de bombeo autónomo con bomba sumergible alimentado por una instalación solar fotovoltaica.

Con aspectos tales como métodos numéricos de cálculo, aclaraciones sobre funcionamiento y montaje, ensayos en un prototipo, etc. Este estudio se plantea a modo de guía para facilitar la implantación de sistemas que contribuyan a mejorar tanto las condiciones de vida como la formación de la población de los países con menor nivel de desarrollo tecnológico en cuanto a materia de abastecimiento de agua.

b) En *Estudios de Sistemas Fotovoltaicos* (Cervantes Herrejón, 2009) en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en México, se presenta un sistema de bombeo fotovoltaico, el cual está enfocado a satisfacer aplicaciones pecuarias y domésticas de bajo consumo, pero con la opción a crecimiento y un alto grado de compatibilidad con numerosas opciones de bombeo disponibles en el mercado.

c) En *Bombeo de Agua para Riego en Cerro Calán Utilizando Energía Solar Fotovoltaica* (Aqueveque Medina, 2009) en la Universidad de Chile se diseña un proyecto de elevación de agua para riego en el Cerro Calán el cual alberga en su cumbre al departamento de Astronomía de la Universidad de Chile. La elevación de agua se hace mediante el uso de bombas activadas con energía solar fotovoltaica.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

a) En *Diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de los laboratorios de ingeniería electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo* (Bravo Damian & Gamarra Vilchez, 2016) se muestra el estudio y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para alimentar con electricidad el laboratorio de ingeniería Electrónica, que contribuirá en el ahorro del consumo eléctrico.

b) En *Plan maestro de electrificación rural con energía fotovoltaica en la región Lambayeque* (Villalobos Cabrera, 2014) en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo se dan propuestas de proyectos para electrificar zonas rurales en la región Lambayeque utilizando energía solar fotovoltaica, es una aporte de extensos datos estadísticos como niveles de electrificación, de pobreza, etc. Con el cual se busca electrificar de manera sostenible.

c) En *Bombeo de agua para riego en la localidad de Tumán utilizando energía solar fotovoltaica* (Tapia Reyes, 2014) en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo se diseña un sistema de bombeo de agua para ser utilizada para riego en la localidad de Tumán el cual es alimentado por un sistema fotovoltaico, se concluye que la elección de tres bombas Lorentz HR-07e instalación de 3000 Wp de potencia en paneles es suficiente para el proyecto.

## 2.2 ENERGÍA SOLAR Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 2.2.1 Energía Solar

La energía solar es la energía proveniente del sol en forma de radiación y calor que es aprovechada en la tierra mediante diversas tecnologías, como las fotovoltaicas (PV), termosolares, fotosíntesis, etc., siendo estrictos casi toda la energía que permite la vida en la tierra proviene directa o indirectamente del sol.

La energía solar es hoy en día la fuente más importante de energía renovable, la energía proveniente del sol es usualmente aprovechada en la tierra empleando dispositivos activos como las celdas solares (que transforman la energía solar directamente en electricidad) y también utilizando métodos pasivos como construcciones acondicionadas para aprovechar la radiación solar y el calor para calefacción interna u otros fines. Es bien sabido que el desarrollo de tecnologías de energía solar limpias, baratas y rentables aportan grandes beneficios a largo plazo en los países que la aprovechan dándoles seguridad energética a través de un recurso propio, inagotable y renovable, promoviendo la sostenibilidad, reduciendo la polución y el cambio climático y dando la posibilidad de reducir la compra y consumo de petróleo.

Una las principales formas de la energía solar es la radiación emitida por él, la cual posee diferentes longitudes de onda, los distintos porcentajes de longitudes de onda en la radiación es lo que se conoce como espectro solar.

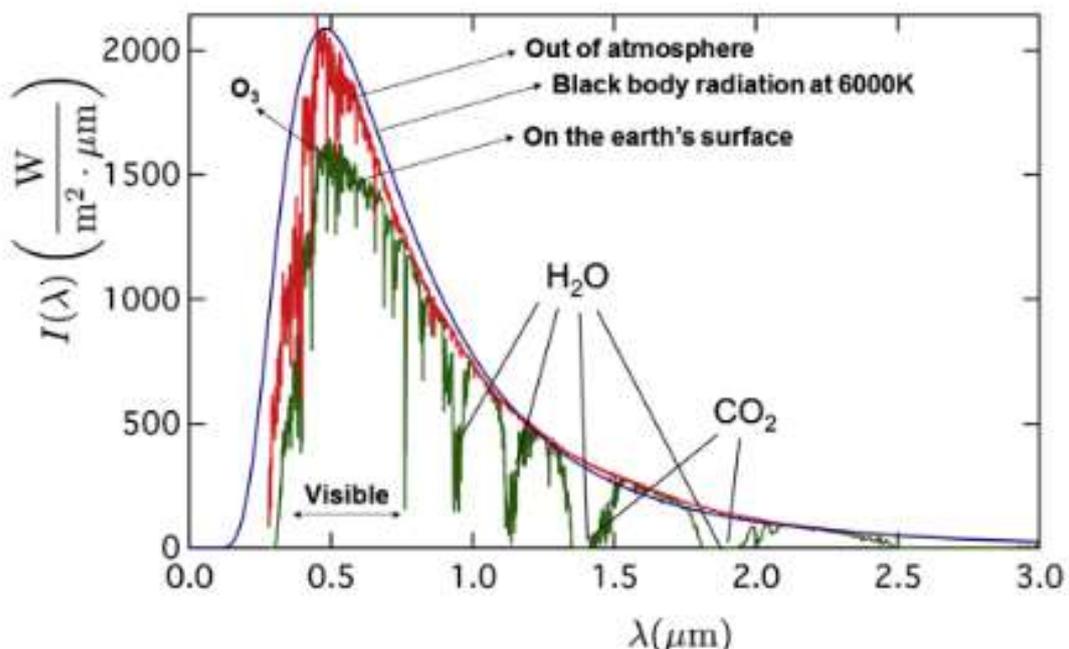


Figura 1: Espectro de la radiación solar

Fuente: (Letcher, 2018)

El espectro solar que llega a la superficie terrestre está compuesto en su mayoría por longitudes de onda en el rango visible y de infrarrojo-cercano con pequeñas partes cercanas al UV. En la figura 1 se muestra el espectro solar dentro y fuera de la atmósfera terrestre y una comparación con lo que sería el espectro de un cuerpo negro a la temperatura aproximada del sol.

La cantidad de energía emitida por el sol en forma de radiación es enorme, para darnos una idea de su gran abundancia, la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre cada hora es mayor a la cantidad de energía utilizada por la toda la población a lo largo de un año. Esto demuestra que la escasez de recursos energéticos de la que hablamos regularmente es solo una ilusión, si el recurso de energía solar pudiera ser aprovechado y almacenado la humanidad no necesitaría preocuparse por los recursos energéticos en un futuro.

La radiación solar es el resultado de las reacciones termonucleares ocurridas en el sol, cada segundo el sol convierte cerca de 650 000 000 toneladas de Hidrogeno en Helio, se ha estimado que el sol ya ha usado aproximadamente 50% de su recurso de hidrogeno., estas reacciones termonucleares generan calor y radiación electromagnética, el calor es utilizado para mantener las reacciones termonucleares mientras que la radiación electromagnéticas en forma de fotones (el 45% de luz visible, 52% luz infrarroja y una pequeña fracción de radiación UV) se distribuye por el espacio en todas las direcciones.

Hay varias estimaciones de la cantidad de radiación solar recibida por la tierra, en promedio está demostrado que la tierra recibe cerca de 174 000 terawatts (TW) de radiación solar fuera de la atmósfera, cerca del 30% es reflejada de regreso mientras que el resto es absorbido por nubes, océanos y masas de agua.(Letcher, 2018) Muchos autores coinciden en que el potencial solar técnicamente aprovechable (es decir el que se puede obtener con la tecnología actual) es de 26 000 TW.(«Available energy», s. f.)

Una forma más intuitiva de indicar la energía solar es por medio de la constante solar, la constante solar se obtiene dividiendo la potencia solar recibida por la tierra entre el área de la tierra. Representa la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, en un plano perpendicular a los rayos del Sol. En la superficie de la tierra la constante solar es alrededor de 1000 W/m<sup>2</sup>.

## El cambio climático y las energías renovables

Después de una proyección apropiadas para el incremento de la población mundial, la normalización del producto bruto interno (PIB) y el consumo energético per cápita, se proyecta que el consumo mundial de energía se duplicará de 13.5TW en 2001 a 27.6 TW para 2050, y para 2100 el consumo alcanzará 43 TW. Estas estimaciones tienen incertidumbres pero representan un razonable y fiable punto de inicio para comprender la magnitud de los retos que se vienen en la energética.

Bajo esta escena, puede que la intensidad de emisión de carbón en el mundo pase de 0.49 kg C/(W año) en 2001 a 0.40 en 2050 y 0.31 para 2100. Estos números producirán de 6.6 Gt C/año en 2001 y 11 Gt C/año en 2050 a 13.3 Gt C/año en 2100, respectivamente. Esta situación puede tener severos efectos adversos en las condiciones atmosféricas.

Casi todos los recursos energético renovables considerados, como la energía hidro, la del océano, eólica, geotérmica y solar son recursos que idealmente no tienen emisiones de carbono por lo que se deben considerar como fuentes primordiales para producir energía a partir de ellas en el futuro. Estos recursos tienen diferente potencial y cantidad de energía que pueden suplir. La Tabla 1 muestra el potencial energético de cada fuente renovable, se puede observar que por mucho la energía solar es la fuente con mayor potencial.

FUENTE DE ENERGÍA	POTENCIAL		
	POTENCIAL TEÓRICO (TW)	POTENCIAL EXTRAIBLE(TW)	POTENCIAL TÉCNICA (TW)
HIDRO	12	2.5	1.2
TIDAL	2.4	0.6	0.037
EÓLICA	1000	250	14
GEOTÉRMICA	44	2.8	1.9
FOTOVOLTAICA	89000	58000	7500
SOALR TÉRMICA	89000	19000	5600

Tabla 1: Potenciales de distintas fuentes renovables.

## La situación del Perú

La energía solar es aún una tecnología en introducción en nuestro país, la energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a la energía provenientes de la quema de combustibles fósiles (termoeléctricas) y a las provenientes del aprovechamiento del potencial hidráulico (hidroeléctricas). 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 posee un promedio anual de 5.24 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar por lo que se considera de gran rentabilidad en instalaciones solares (SENAMHI, 2003). La siguiente tabla muestra el promedio anual de radiación solar directa en los departamentos de Perú.

DEPARTAMENTO	RADIACIÓN SOLAR [kWh/m2/día]
AREQUIPA	6.08
MOQUEGUA	6.04
TACNA	5.83
TUMBES	5.67
PIURA	5.54
LAMBAYEQUE	5.50
ICA	5.50
CERRO DE PASCO	5.46
HUANCAVELICA	5.33
JUNIN	5.33
ANCASH	5.29
CAJAMARCA	5.25
PUNO	5.21
CUSCO	5.17
AYACUCHO	5.17
LA LIBERTAD	5.13
LIMA	5.13
APURIMAC	5.13
HUANUCO	4.83
MADRE DE DIOS	4.79
AMAZONAS	4.67
SAN MARTÍN	4.67
UCAYALI	4.63
LORETO	4.42

Tabla 2: Radiación solar en departamentos de Perú.

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar. 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).

El segundo ámbito de desarrollo está en los pequeños sistemas fotovoltaicos, entre los proyectos existentes está el financiado por el Banco Mundial, el Global Environment Facility – GEF y el MEM que ya ha subvencionado la provisión de electricidad a 2 216 hogares que con sistemas fotovoltaicos pilotos. Asimismo, dentro de este esquema existiría en cartera otro subproyectos para llegar a 7 000 hogares más. Otro programa es Euro Solar, que provee 130 pequeñas centrales de energía híbrida (eólico-solar) destinadas a abastecer de energía a postas, colegios y locales comunales rurales. Asimismo, el programa Luz para Todos del Gobierno Central contempla que cerca de 11 640 nueva localidades con servicio eléctrico serán atendidas con fuentes renovables siendo una buena parte de ellas a través de sistemas fotovoltaicos. Entre las opciones para la electrificación rural están los sistemas fotovoltaico domiciliario (SFD). La empresa estatal ADINELSA, encargada de la promoción de la electrificación rural en áreas no concesionadas, ya posee más 1500 SFDs operativos en el sur del país.(HIVOS et al., 2013)

El tercero es en los grandes proyectos, a pesar del gran recurso solar disponible el desarrollo de centrales solares o grandes proyectos es muy bajo, a la fecha Perú cuenta con 7 centrales solares fotovoltaicas instaladas y funcionando, que en conjunto suman alrededor de 280 MW y con las cuales se genera apenas el 0.7 % de la energía eléctrica nacional (OSINERGMIN).

En la Figura 2 se muestra la matriz energética en Perú.

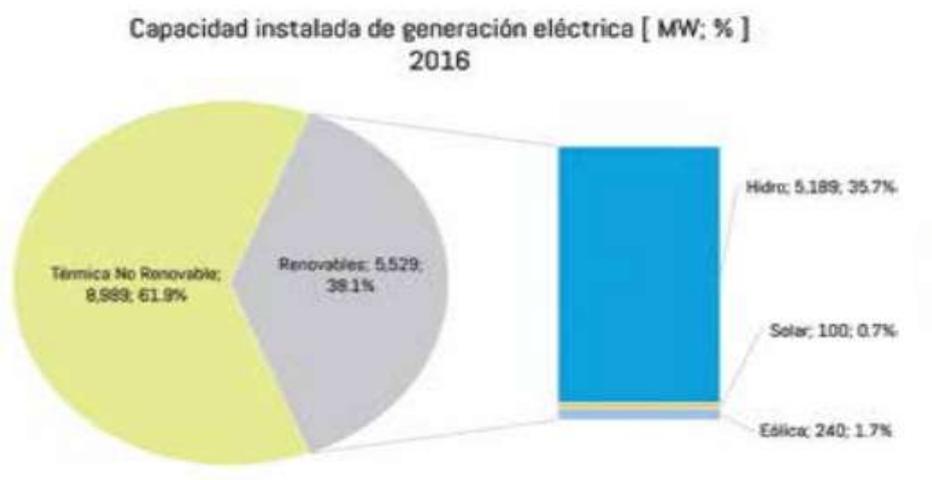


Figura 2: Matriz energética del Perú.

Fuente: (OLADE, 2017)

### 2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica y Sistemas Fotovoltaicos (PV)

Varias opciones están disponibles para que la humanidad pueda explotar la energía solar, entre las que se encuentran: 1) la conversión de la energía solar fotosintética para producción de biocombustibles 2) los sistemas termosolares que convierten la radiación solar a energía térmica para aplicaciones de calor y 3) los sistemas fotovoltaicos (PV) que transforman la energía solar directamente en electricidad sin la intervención de generadores, motores u otros dispositivos, esta última opción es la que tiene mayor proyección pues los sistemas PV son considerados resistentes, de diseño simple y con pocas necesidades de mantenimiento.

La definición de la energía solar fotovoltaica es muy diversa, la Tabla 3 muestra las definiciones más comunes dadas por diferentes autores

AUTOR	DEFINICIÓN
(Green, 2000)	Es la conversión directa de luz solar en electricidad
(Surek, 2005)	Energía basada en tecnología de semiconductores que convierte la luz solar en electricidad.
(Hoffmann, 2006)	Es el más elegante método para producir electricidad transformando abundante luz solar.
(Rockett, 2010)	Generación directa de electricidad a partir de luz.
(Silveira, Tuna, & Lamas, 2013)	Recurso renovable de energía al convertir luz en electricidad
(Peng, Lu, & Yang, 2013)	Energía que genera electricidad de la energía solar.
(Tyagi, Rahim, Rahim, & Selvaraj, 2013)	Conversión directa de radiación en electricidad.
(Mundo-Hernández, de Celis Alonso, Hernández-Álvarez, & de Celis-Carrillo, 2014)	Fuente de energía que convierte la luz directamente en electricidad sin emisiones de gas o ruido.
(Hosenuzzaman et al., 2015)	Es la conversión directa de luz en electricidad sin la ayuda de máquinas o dispositivos móviles.

Tabla 3: Definiciones de la energía solar

Fuente: Indicadas en la tabla

Podemos observar que las definiciones dadas por los autores tienen términos en común, como: “electricidad”, “radiación solar”, “generación directa”, “conversión”. Con base en esto podemos adoptar como concepto de energía solar fotovoltaica la siguiente definición: **“la electricidad obtenida por la conversión directa de energía solar”**.

Comparada con otros recursos energéticos convencionales, como los combustibles fósiles, la tecnología fotovoltaica no trae consigo serios problemas ambientales, como el cambio climático, la polución, la lluvia ácida, etc. Otra ventaja respecto a los combustibles fósiles es que la energía solar no necesita ser extraída, refinada o transportada al sitio de generación.

Pese a que la energía solar es una fuente muchísimo más limpia que los combustibles fósiles, durante su ciclo de vida se consume gran cantidad de energía y se emite gases de invernadero en algunas etapas de su producción (fabricación de celdas solares, ensamblaje de módulos fotovoltaicos, transporte de material, etc.), además posee otras desventajas, como sus costos, por citar un ejemplo la tecnología fotovoltaica consume por unidad de electricidad producida 64 más recursos materiales, 7 veces más recursos humanos y 10 veces más capital inicial que la tecnología nuclear. Una lista de las ventajas y desventajas de la tecnología fotovoltaica es mostrada a continuación:

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>VENTAJAS</b>	Sistema confiable
	Bajos costos de operación y de mantenimiento
	Poco mantenimiento
	Recursos de energía libre
	Energía limpia
	Alta disponibilidad
	Generación distribuida
	Amigable con el medio ambiente
	No produce ruido
<b>DESVENTAJAS</b>	Limitaciones en la disponibilidad de sistemas en el mercado.
	Alto costo inicial.
	Grandes áreas necesarias para la instalación.
	Alta dependencia de la tecnología en desarrollo
	Alta dependencia de las condiciones de radiación

Tabla 4: Ventajas y desventajas de la energía solar.

Fuente: Elaboración propia

Un sistema fotovoltaico típico consiste de cuatro elementos básicos: Módulo Fotovoltaico, controlador de carga, inversor y en caso necesario un sistema de almacenamiento de energía (batería).

El módulo fotovoltaico consiste en celdas solares que son las encargadas de generar la electricidad, estas celdas no tienen partes móviles y funcionan sin combustibles, vibraciones, ruidos y sin perjudicar el medio ambiente. El controlador de carga tiene la función de preservar las baterías de sobrecarga o descarga completa y así aumentando su tiempo de vida. El inversor, por su lado, es el encargado de convertir la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos (en forma de corriente continua DC) a corriente alterna AC a determinado voltaje y frecuencia con la finalidad de poder alimentar electrodomésticos u otros dispositivos de corrientes alterna o conectarse a la red eléctrica. Finalmente las baterías son usadas en los sistemas PV para almacenar el exceso de energía producido por los módulos y poderlo utilizar en las noches o en los días con poca luz o nublados.



Figura 3: Componentes de un sistema fotovoltaico (PV)

Fuente: Elaboración propia

La energía solar fotovoltaica es una de las industrias que más está creciendo alrededor del mundo, para mantenerse así nuevos desarrollos han sido producidos en cuestión de materiales, consumo de energía para la producción de celdas solares, diseño del dispositivos, tecnologías de producción, así como nuevos conceptos para mejorar la eficiencia de las celdas.

En el 2015, el mercado global alcanzó 200 GW de sistemas fotovoltaicos instalados lo cual es cerca de 40 veces la capacidad instalada de 2006, con esto los sistemas fotovoltaicos producen alrededor del 1% de toda la energía demandada a nivel mundial. Se espera que para 2050 el 16% de la demanda de electricidad mundial sea provista por sistemas fotovoltaicos, la generación fotovoltaica ya está siendo explotada extensivamente en muchas partes del mundo incluidos China, Japón, Estados Unidos, Europa, Alemania e Italia e incluso Costa Rica.

### **Celdas Solares**

Las celdas solares son los dispositivos que se encargan de transformar la energía proveniente del sol directamente en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico fue observado por primera vez por Becquerel en 1839, este efecto ocurre en materiales conocidos como semiconductores, los cuales son materiales que tienen propiedades entre conductores y aislantes. Los materiales semiconductores presentan dos bandas de energía, en uno de ellas hay presencia de electrones (banda de valencia) y en la otra no hay presencia de ellos es decir la banda está completamente vacía (banda de conducción).

El semiconductor utilizado más comúnmente es el silicio, el segundo elemento más abundante de la tierra. Sus átomos son caracterizados por tener cuatro electrones compartidos con sus vecinos (enlace covalente) creando una red cristalina.

La función de la luz solar en el efecto fotovoltaico es suplir determinada cantidad de energía al electrón más externo para hacer posible que se mueva de la banda de valencia a la banda de conducción en el material, y a consecuencia generar electricidad. Para el caso del silicio es necesario específicamente 1.12 eV de energía para que los electrones puedan pasar a la banda de valencia. Además el material semiconductor debe ser posible absorber una gran parte del espectro solar. Virtualmente todos los dispositivos incorporan una unión PN en un semiconductor. Una celda solar típica es mostrada en la Figura 4. La unión PN es la parte principal de la celda donde la porción de tipo N es donde se recibe la luz y en la parte de abajo es de tipo P.

El componente central de una celda solar es material cristalino absorbente de luz, usualmente silicio cristalino (C-Si). Sin embargo, otros materiales semiconductores han sido empleados y los más usados a nivel comercial son: el silicio policristalino (con 53% de uso) silicio mono-cristalino (38.5%), silicio amorfo (5%), ribbon silicio (3%), Teluro de Cadmio (1.5%), cobre indio di selenio (0.2%).

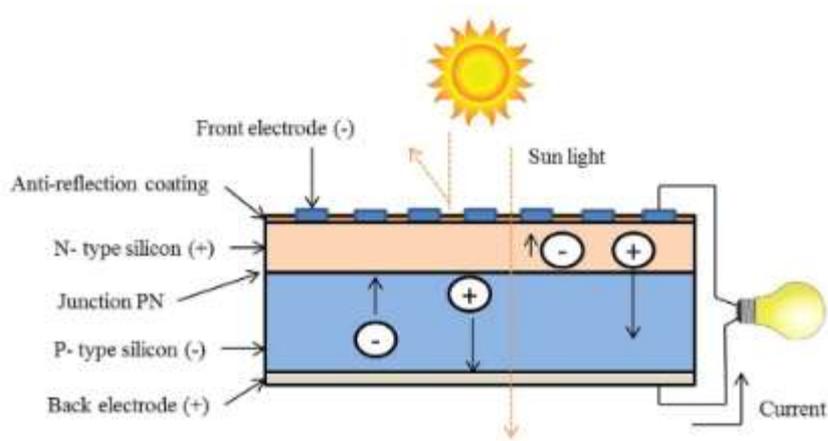


Figura 4: Celda Solar

Fuente: (Tyagi et al, 2013)

## 2.3 SISTEMAS DE BOMBEO

### 2.3.1 Bombeo

El agua es necesaria para la supervivencia, se necesita para beber, para usos domésticos, para la irrigación a gran escala, la construcción e incluso para la generación de energía. El agua juega un papel importante y un rol muy significativo en el desarrollo de cualquier país, la calidad de vida en un país depende fuertemente de la cantidad y calidad de los recursos de agua disponible. Se estima que en promedio una persona requiere 7.5 litros de agua diarios para poder sobrevivir (World Health Organization WHO, 2011).

A pesar de que una gran cantidad de agua de buena calidad está presente en el mundo, frecuentemente no se encuentra disponible en los lugares donde pueda ser usada fácilmente, esto conlleva a que sea necesario llevar agua desde los sitios en los que se encuentra disponibles hasta en los que es demandada, para ello el bombeo de agua ha sido utilizado por décadas.

El bombeo de agua tiene una larga historia, se han desarrollado muchos métodos para bombear agua. La humanidad ha usado variedad de fuentes energéticas, a saber energía humana, fuerza de los animales, energía hidráulica, eólica, solar y combustibles como diésel para pequeños generadores (Practical Action, 2010).

Las bombas más comúnmente utilizadas en áreas remotas son:

- Bombas de mano
- Bombas de pozo accionadas directamente por diésel
- Bombas eléctricas sumergibles acopladas a un generador de diésel
- Bombas solares sumergibles

Las bombas de agua se utilizan para varias aplicaciones, pero podemos resumirlas en tres principales:

- Para consumo doméstico
- Para irrigación
- Para uso industrial

En la presente tesis nos centraremos en los sistemas de bombeo para irrigación utilizado energía solar fotovoltaica. La agricultura es un sector muy importante en el país, Perú cuenta con una parte importante de las áreas de agricultura no conectadas a la red eléctrica, en la mayoría de ellas se utilizan grupos electrógenos de diésel que generan la electricidad para el bombeo. Lo cual presenta las siguientes desventajas

- Diésel, por el transporte y el almacenaje, cuesta considerablemente más que en las estaciones de servicio.
- Gastos de mantenimiento de los grupos, cambios de aceite y filtros, etc. añaden a los costos.
- Reparaciones son frecuentes.
- La eficiencia es menos de 40% por la baja conversión de la energía del diésel a la electricidad, además no operan en su mayoría a su óptimo punto energético, contrario de los generadores grandes que producen electricidad para la red.
- La vida de los generadores depende de la calidad, del buen manejo y el mantenimiento., frecuentemente es corta.

### **2.3.2 Bombeo solar fotovoltaico**

La mayoría de las bombas comerciales disponibles en la actualidad funcionan a electricidad o a combustible. Generalmente, la electricidad es generada en su mayoría quemando combustibles fósiles y se trasmite por las redes de transmisión y distribución nacional, esto presenta dos problemas, 1) contribuye a las emisiones de carbono y por tanto al calentamiento global y 2) en las zonas remotas que no se encuentran conectadas a la red eléctrica no se puede bombear agua de manera fácil. Por estas razones los investigadores se han enfocado en el desarrollo de sistemas de bombeo en el que la energía pueda ser suministrada por recursos renovables.

Muchos recursos renovables pueden ser utilizados para bombear agua. Sin embargo, la energía solar fotovoltaica se ha vuelto uno de los más apropiados, tanto por ser limpia y disponible como por la relación directa que se presenta entre su disponibilidad y la demanda

de agua, la radiación solar es alta en muchas zonas donde las redes de energía eléctrica no llegan y donde hay una alta necesidad de agua.

El bombeo solar presenta muchas ventajas frente a los sistemas de bombeo convencional, respecto a su eficiencia, su tamaño y su viabilidad económica. En términos económicos por ejemplo, el problema asociado con el uso de combustibles va desde su disponibilidad, los costos de transporte, el precio, y los efectos en el ambiente mientras que los sistemas fotovoltaicos cada vez reducen sus precios y los sistemas de bombeo solares se vuelven más factibles.

Hay varios diseños posibles para desarrollar sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos, pero el más común es el que envuelve paneles fotovoltaicos como se muestra en la Figura 5.

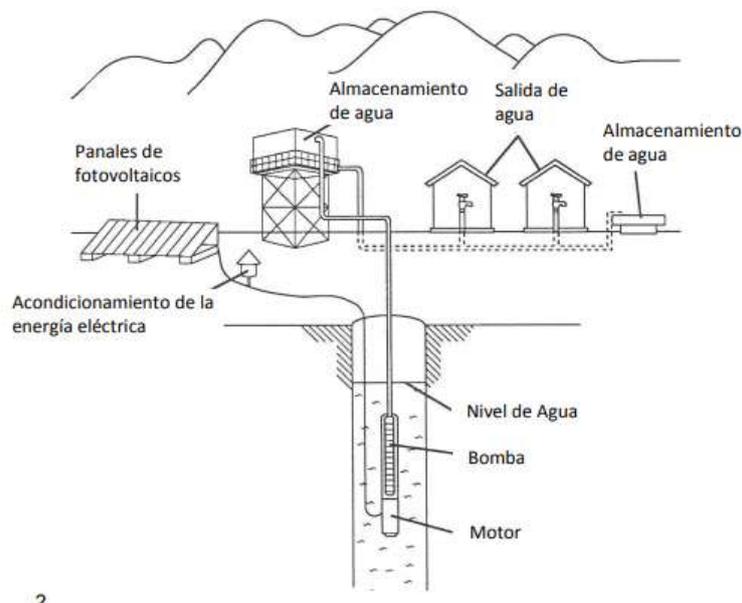


Figura 5: Arreglo de bombeo solar típico.

Fuente: (Practical Action, 2010)

Un sistema de bombeo de agua está compuesto principalmente por.

- Paneles Fotovoltaicos
- Motor
- Bomba de agua
- Reservorio de Almacenamiento de agua
- Sistema de control de potencia

## Bomba de agua

Una bomba es una máquina capaz de transformar energía mecánica en energía solar. Para los sistemas de bombeo fotovoltaicos se utilizan bombas especiales, las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y de desplazamiento.

- **Bombas Centrífugas:** Es el tipo de bomba más utilizado en la industria. Son llamadas bombas **roto-dinámicas**, estas máquinas son siempre rotativas y su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler. Son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

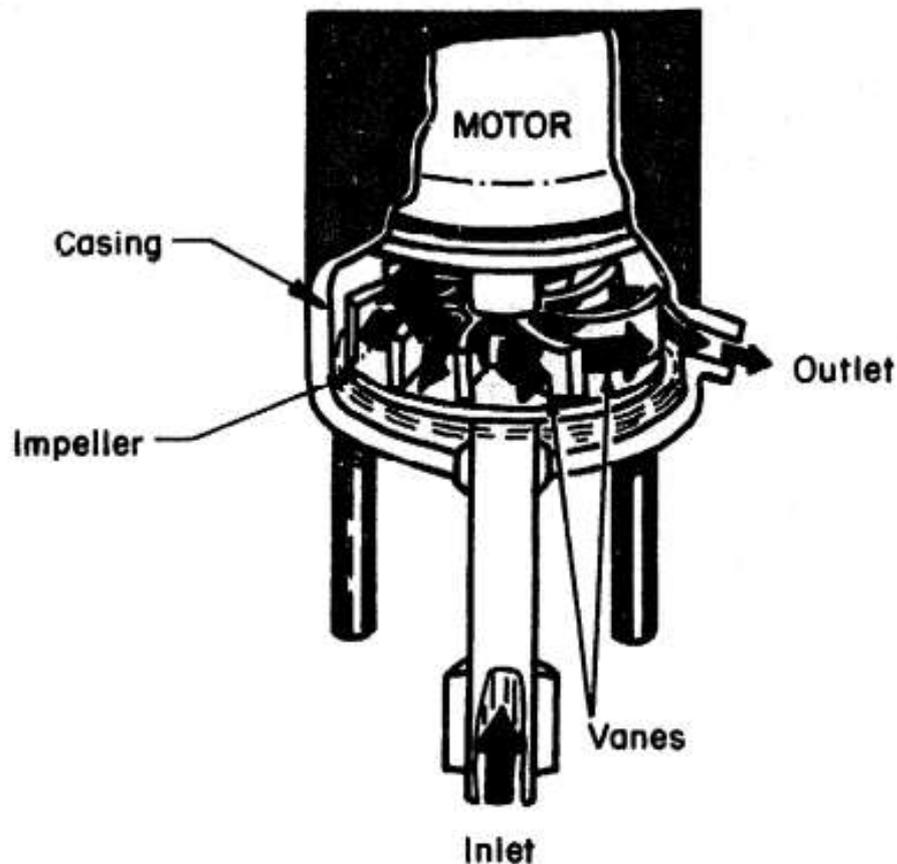


Figura 6: Bomba centrífuga

Fuente: (Kenna et al, 1985)

El fluido entra por el centro del rodete o impulsor que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor. Están diseñadas para una altura fija y la salida del agua incrementa de acuerdo a su velocidad rotaciones. Tienen una eficiencia óptima a determinada altura y caudal de diseño

mientras que a alturas y caudales distintos su eficiencia decrece. Sin embargo, ofrecen la posibilidad de trabajar en conjunto con un arreglo fotovoltaico en un amplio rango de condiciones de operación. Las bombas centrífugas se utilizan generalmente para alturas menores a 5 o 6 metros y son adecuadas para funcionamiento sumergido, esto se debe a que no son autocebantes por lo que pierden rápidamente el cebado en alturas mayores.

- **Bombas de Desplazamiento Positivo o Volumétricas:** Las bombas de desplazamiento positivo son equipos hidrostáticos. Bombean un volumen definido dependiente de las revoluciones del motor, pero de manera prácticamente independiente de la presión. Se trata de bombas de bombeo forzado que, a pesar de sus distintos principios constructivos, a menudo son capaces de dominar tareas de bombeo similares. Se basan en el principio de desplazamiento positivo.
  - **Bombas de Tornillo o Helicoidales:** Es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo, que se diferencia de las habituales, más conocidas como bomba centrífuga. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el tornillo y la camisa.

Existen más tipos de bombas pero los mencionados anteriormente son los utilizados por las bombas solares.

### **El motor**

Un motor es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos, existen diferentes clasificaciones para los motores eléctricos, pero la requerida para nuestro trabajo es la siguiente:

- **Motores de Corriente Alterna (Motor AC):** La corriente alterna es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido varían cíclicamente, esta corriente es la que circula por nuestras redes eléctricas. Los motores AC son los más utilizados en la industria y en la mayoría de electrodomésticos.
- **Motores de Corriente Continua (Motor DC):** La corriente continua es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido se mantienen constantes en el tiempo, es el tipo de corriente de las pilas y baterías. Los motores de corriente continua son menos frecuentes en la industria que los AC ya que requieren mayor mantenimiento y altos costos de instalación.

Escoger un motor DC es conveniente porque los paneles fotovoltaicos proveen corriente eléctrica en DC. Sin embargo, para aplicaciones gran tamaño se recomienda usar motores

AC en conjunto con inversores DC-AC ya que el rango de potencias de los motores AC disponibles en el mercado son mucho más altos que los de DC y los precios son más bajos. Por otro lado para aplicaciones pequeñas, como la de este trabajo, es más factible utilizar motores DC.

### **Configuraciones motor-bomba**

Hay muchas configuraciones de motor y bomba adecuadas para bombeo solar. Que sean autocebantes es un requisito esencial debido a las frecuentes detenidas de la bomba provocadas por variaciones del clima. Las cuatro principales configuraciones utilizadas son:

- (a) Motor-bomba sumergidos, con bombas centrífugas compuestas de varios impulsores, estas bombas se conocen como bombas multietapa, o en algunos casos necesarios con bombas de desplazamiento positivo.
- (b) Bomba sumergida y el motor fuera, la bomba puede ser centrífuga o de desplazamiento positivo.
- (c) Motor-bomba flotante, con bomba centrífuga.
- (d) Motor y bomba fuera, en la mayoría de los casos la bomba suele ser de desplazamiento positivo.

Cada tipo de configuración se adecua más a ciertas alturas y caudales.

### **Bombas solares**

Se denominan bombas solares a los sistemas de bombeo que utilizan energía solar para su funcionamiento, en realidad las bombas solares no son un tipo específico de bombas sino distintas combinaciones de tipos de bombas y de motores.

La bomba solar más popular es la bomba sumergible, este tipo de bomba es en realidad un **GRUPO MOTO-BOMBA SUMERGIBLE** es decir un equipo que contiene una bomba (centrífuga o de desplazamiento positivo) junto a un motor (generalmente DC, aunque puede ser AC) en una sola pieza y que gracias a los modernos progresos en el aislamiento puede instalarse sumergida totalmente.

Como indicamos anteriormente los sistemas fotovoltaicos producen corriente DC por lo que en general las bombas sumergibles poseen un motor DC, y el tipo de bomba puede ser centrífuga o de desplazamiento positivo dependiendo de los requerimientos.

La Figura 6 muestra una bomba sumergible solar que utiliza un motor DC y una bomba centrífuga.



Figura 7: Bomba sumergible de tipo centrífuga, en el lado superior derecho se muestra la bomba desmontada, en el lado derecho al medio el motor desmontado, y al inferior derecho el variador de frecuencia.

Fuente: (DC Solar Pumps, 2018)

### **Sistema de Control de Potencia**

El sistema de acondicionamiento de potencia está formado por inversores (DC/AC), convertidores (DC/DC), controladores de motor y reguladores.

**Inversores DC/AC:** Tienen la misión de transformar la corriente continua de salida del generador en corriente alterna para el funcionamiento del motor AC. Los inversores fotovoltaicos generan una salida monofásica o trifásica con voltaje y frecuencia variable,

una frecuencia variable permite operar con distintas velocidades así pueden disminuir el par de arranque y aumentar las horas de funcionamiento.

Normalmente estos inversores incorporan seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP).

**Convertidores DC/DC:** Su objetivo principal es conservar tanto al generador como a la carga en su punto óptimo de trabajo. El convertidor convierte una potencia de entrada en otra potencia de salida. Existen dos tipos de convertidores, los que elevan la tensión de salida y los reductores de tensión.

**El controlador de motor:** se utiliza en motores sin escobillas y es necesario para la conmutación del motor. Este controlador también posee un sistema SPMP.

**Baterías:** El sistema de baterías es opcional, el objetivo principal de la batería es acumular la energía sobrante durante las horas de sol y máximo funcionamiento, para después reutilizarla en horario nocturno o en días de baja irradiación solar. El principal problema que tiene el uso de baterías es la reducción considerable en la fiabilidad de la instalación e incrementa la necesidad de mantenimiento, además es necesario el uso de un regulador y diodos de bloqueo para evitar que la batería se descargue por la noche, suponiendo un coste añadido en la instalación. En definitiva el uso de baterías es razonable únicamente cuando el bombeo durante las horas de sol no es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas de agua.

**Regulador:** El regulador es exclusivamente necesario con el uso de baterías para protegerla de sobrecargas o sobre descargas.

## 3 LUGAR DE ESTUDIO

El sistema de bombeo solar a diseñar se ubicará en un terreno agrícola en el departamento de Lambayeque al norte del Perú, en este capítulo describiremos el contexto geográfico del sector agrícola así como sus necesidades de agua y otras características.

### 3.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO

El sector agrícola “Monsefú” es un terreno agrícola ubicado en el distrito de Monsefú, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.

El terreno está ubicado en las coordenadas 6.87 S, 79.85 O. La Figura 8 y Figura 9 muestran la ubicación referencial del terreno y una vista aérea cercana.



Figura 8: Monsefú

Fuente: (Google Maps, 2018)



a)



b)

Figura 9: a) Ubicación del terreno agrícola en Monsefú, b) Vista satelital del terreno indicando sus límites.

Fuente: (Google Earth, 2018)

El terreno tiene una superficie de aproximadamente 2 hectáreas, pertenece a la familia GONZALES-GONZALES la cual lo dedica principalmente a la siembra de arroz.

Además dentro del terreno agrícola cuentan con una casa de 6 m x 30 m en la cual residen por temporadas. La figura 8 muestra una fotografía del frente de la casa.



Figura 10: Frente del terreno agrícola

Fuente: Elaboración propia

En la actualidad piensan dedicar  $\frac{1}{4}$  de la hectárea a la siembra de tomates.

### 3.2 DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua del terreno agrícola es destinada para en su mayoría para el riego. En la actualidad cuentan con un pozo tubular pero este no se utiliza debido a su alto costo y al mal servicio de electricidad. Por estas razones compran agua para riego, lo cual conlleva a un gasto fijo. La parcela de 2 hectáreas ha sido utilizada hasta ahora para riego de cultivo de arroz. Pero los propietarios tienen proyecto la siembra de tomates en ¼ de hectárea. El sistema de bombeo fotovoltaico a diseñar en este trabajo pretender proveer el agua para el riego por goteo de esta cuarta de hectárea de tomates.

Para determinar la demanda de agua necesaria para el riego de tomate, nos basamos en la investigación realizada por Lara et al en el cual determina el caudal necesario para riego por goteo en cultivos de tomate.

La figura 11 muestra un gráfico de la demanda diaria durante los meses de riego.

	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>Descarga de agua por gotero al día</b>	4 l/hr											
<b>Número de horas de uso al día</b>	7.15	6.24	4.68	3.25	1.95	1.82	2.73	2.34	4.16	4.29	5.46	6.76

Figura 11: Demanda de agua

Fuente: (Silveira et al, 2013)

## 4 DISEÑO DEL SISTEMA

---

**E**n este capítulo nos encargaremos de dimensionar el sistema de bombeo solar, iniciaremos indicando el diseño del sub-sistema hidráulico, compuesto por el motor y la bomba, posteriormente el diseño del sub-sistema fotovoltaico, compuesto por los módulos fotovoltaicos y finalmente diseñaremos el sub-sistema de control y almacenamiento de energía.

El sistema de bombeo fotovoltaico a diseñar estará compuesto por:

- El sub-sistema fotovoltaico: Son los paneles fotovoltaicos que actúan como generador de energía eléctrica.
- El sub-sistema hidráulico: motor y la bomba (que pueden estar compactos), son las máquinas que transformarán la energía eléctrica proveniente del sistema fotovoltaico en energía mecánica y posteriormente en cinética para llevar el agua desde el pozo hasta el almacenamiento o el lugar de aplicación a través de un sistema de tuberías.
- El sub-sistema de control: compuesto por el regulador, los conductores, las protecciones y otros dispositivos que permitan controlar al sistema de bombeo fotovoltaico.
- Adicionalmente un sub-sistema de almacenamiento de energía: El cual puede ser un sistema de baterías o un sistema de almacenamiento de agua (energía potencial).

### 4.1 SUB-SISTEMA HIDRÁULICO

#### 4.1.1 Caudal Necesario

El caudal necesario para el sistema se obtiene a partir de las necesidades de riego del terreno para cultivo de tomate mostrado en la sección anterior. Considerando el mes de Enero donde se necesita mayor cantidad de horas de riego. El caudal se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = ng * qg * nl \quad (4.1)$$

Donde:

ng: Número de goteros en laterales

qg: Descarga por gotero

nl: Número de tuberías laterales

#### 4.1.2 Altura de bombeo

La propiedad cuenta con un pozo tubular ya construido, el cual no está siendo utilizado por motivos de costos. La figura 12 muestra fotografías del pozo tubular mencionado. El pozo tiene una profundidad de 9 metros.



Figura 12: Pozo tubular

Fuente. Elaboración Propia

Para calcular la altura equivalente de bombeo o altura hidráulica de bombeo y para todos los cálculos siguientes seguiremos la siguiente **metodología**:

Paso 1: Se describirá la formula respectiva para el cálculo en este capítulo seguido de los factores correspondientes enumerados con 1), 2), etc. y describiéndolo con el correspondiente número.

Paso 2: El paso 2 corresponde al desarrollo de la formula con los valores correspondientes, este pasó se llevará a cabo en el **Capítulo 5: Cálculos y Resultados**.

La altura equivalente de bombeo  $H_{EB}$  [m] viene determinada por la fórmula 4.2. El desarrollo de las formulas se

$$H_{EB} = H_d + H_e + A_p \quad (4.2)$$

Donde:

- 1)  $H_d$  : Altura dinámica [m]
- 2)  $H_e$  : Altura estática [m]
- 3)  $A_p$  : Abatimiento del pozo [m]

1) La altura dinámica es la caída de presión cuando un líquido circula por el interior de una tubería debido a la fricción. Esta pérdida depende de la longitud de la tubería, de su diámetro y del coeficiente de fricción. La altura dinámica se calcula mediante la fórmula de Hazem-Williams:

$$H_d = 10.67(L) \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} (d^{-4.869}) \quad (4.3)$$

Donde:

- $H_d$  : Altura dinámica [m]
- $L$  : Longitud de la tubería [m]
- $Q$  : caudal [m<sup>3</sup>/s]
- $C$  : Coeficiente de Hazen-Williams
- $D$  : Diámetro interno de la tubería [m]

El coeficiente depende del material por el que circula el fluido en este caso para el PVC toma el valor de 150.

MATERIAL	C
Asbesto-cemento	140
Hierro fundido nueva	130
Hierro fundido 10 años	107
Hierro fundido 20 años	89
Hierro fundido 30 años	75
Hierro fundido 40 años	64
Concreto	100
Cobre	130
Acero	90
Hierro galvanizado	120
Polietileno	140
Policloruro de vinilo (PVC)	150
Plástico fibroreforzado (FRP)	150

Tabla 5: Valores de C para distintos materiales.

Fuente: (Alata, 2015)

2) La altura estática es la distancia entre el punto donde se tomará el agua hasta el lugar a donde será bombeado.

3) El abatimiento es el descenso del nivel del agua en espacio interior del pozo desde un nivel estacionario, en el que el nivel extraído es nulo, hasta un determinado nivel, cuando el caudal extraído es Q.

$$A_p = \frac{\ln(t)}{4\pi * T} * Q + K_w * Q + D_w * Q^2 \quad (4.4)$$

Donde:

$A_p$  : Abatimiento dentro del pozo de bombeo

$K_w$  : Constante que representa la suma de los coeficientes de los componentes lineales constantes del abatimientos debidas a las características del acuífero no alterado, los efectos de la zona de desarenado, los efectos del empaque de grave y los efectos de las pérdidas en la rejilla y la camisa.

$D_w$  : Constante que representa la suma de los coeficientes constantes de las componentes cuadráticas del abatimiento, debida a los mismos efectos que se han señalado para  $k_w$ .

$T$  : Coeficiente de transividad del acuífero, es la capacidad de un medio poroso para transmitir el agua según el espesor del acuífero y su permeabilidad.

$Q$  : Caudal

$T$  : Tiempo de bombeo.

### 4.1.3 Energía Hidráulica

El punto inicial para el dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico es la relación entre la energía necesaria y la demanda de agua. La energía hidráulica o energía de bombeo es la energía que consumirá la bomba para transformar la energía mecánica proveniente de un motor en energía cinética y luego potencial y así transportar el agua de un punto a otro (Kenna & Gillett, 1985).

La energía hidráulica no es la energía consumida por el sistema motor-bomba sino que es menor a este puesto que el motor tiene pérdidas al transformar la energía eléctrica en mecánica.

La Fig. 13 Muestra el flujo de energía en un sistema de bombeo fotovoltaico, en este punto nosotros nos encontramos calculando la energía de la etapa 4, es decir la energía hidráulica que va a consumir la bomba, con este valor y la eficiencia de la bomba podremos calcular la energía mecánica que requerirá el motor para finalmente dimensionar el sub-sistema fotovoltaico a partir de la energía eléctrica requerida.

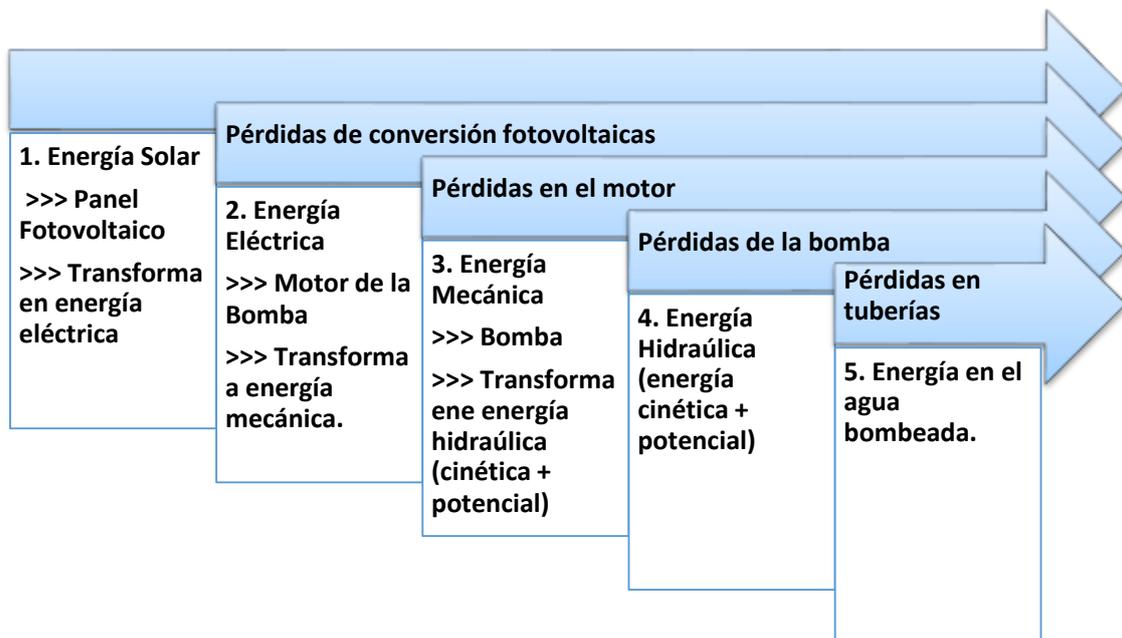


Figura 13: Flujo de la energía en el sistema

Fuente: Elaboración propia

La energía hidráulica se puede calcular mediante la fórmula 4.5:

$$E_{hidráulica} = \frac{h*Q*H_{EB}}{367} \quad (4.5)$$

Donde:

$h$  : Número de horas de funcionamiento del sistema de bombeo [h]

$Q$  : Caudal requerido [ $m^3/s$ ]

$H_{EB}$  : Altura equivalente de bombeo [m]

Y para una bomba solar sumergible en al cual la bomba viene unida al motor, la energía eléctrica requerida por el motor se determina mediante:

$$E_{eléctrica} = \frac{E_{hidráulica}}{\eta_{m-b}} \quad (4.6)$$

Donde:

1)  $\eta_{m-b}$  : Eficiencia del motor-bomba.

1) La eficiencia motor-bomba considera las pérdidas en el proceso de transformación de energía eléctrica a energía mecánica por parte del motor y de la bomba y su valor es de acuerdo a la configuración seleccionada, a la altura de bombeo y al caudal.

La Tabla 6, muestra las eficiencias motor-bomba de acuerdo a la configuración y a la altura.

ALTURA DE BOMBEO	CONFIGURACIÓN	EFICIENCIA TÍPICA DIARIA DEL SISTEMA.	
2 METROS	Bomba centrífuga con motor DC, bomba flotante o fuera.	25	30
7 METROS	- Motor DC flotante con bomba centrífuga simple o multi-etapa sumergida - Bomba centrífuga sumergida con motor DC afuera.	28	40
20 METROS	- Bomba centrífuga sumergida con motor AC o DC afuera. - Bomba de desplazamiento positivo sumergida con motor AC o DC afuera.	32	42

Tabla 6: Configuraciones motor-bomba,

Fuente: Elaboración propia a partir de (Kenna, 1985)

#### 4.1.4 Dimensionamiento de La Bomba

La bomba será la encargada de transportar el agua desde el pozo hasta el lugar de aplicación o almacenamiento, para ello requiere energía mecánica que le es proporcionada por un motor, en caso de la mayoría de bombas sumergibles el motor y la bomba vienen integrados por lo que solo es necesario dimensionar la bomba. El dimensionado permite calcular la potencia necesaria para bombear el caudal requerido a la altura de trabajo requerida.

La potencia de la bomba se obtiene a partir del caudal y de la altura de trabajo como muestra la fórmula 4.7:

$$P_{bomba} = \frac{\gamma \cdot Q_{prom} \cdot H_{EB}}{\eta_b} \quad (4.7)$$

Donde:

$\gamma$  : Peso específico del agua [1000 kg/m<sup>3</sup>]

$Q_{prom}$ : Caudal promedio [m<sup>3</sup>/s]

$H_{EB}$  : Altura equivalente de bombeo [m]

$\eta_b$  : Eficiencia de la bomba

**Otra metodología** para obtener la potencia de la bomba se basa en de tablas proporcionadas por los fabricantes de las bombas. La Fig. 14 muestra un diagrama típico para selección de bombas.

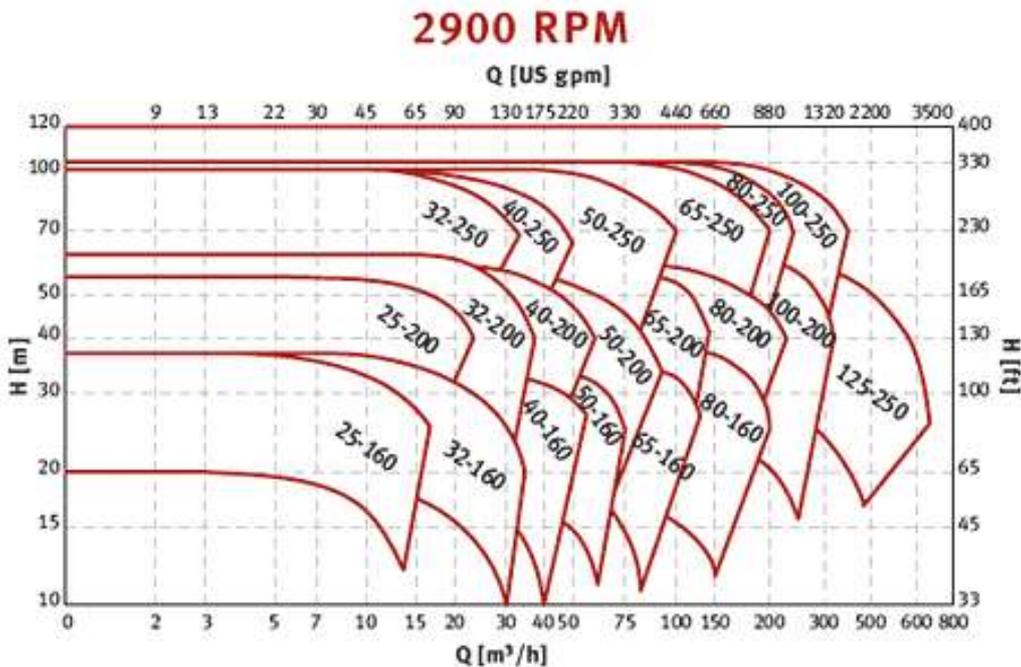


Figura 14: Diagrama de potencias para bombas.

Fuente: (Catalogo de bombas DC PUMP, 2018)

#### 4.1.5 Dimensionamiento de las Tuberías

El diámetro de las tuberías se calcula de acuerdo con las pérdidas de carga o altura dinámica especificadas cuando se obtiene la energía hidráulica necesaria y con la longitud real de tubería sumada a la "longitud equivalente" de los accesorios de la instalación. Para unas pérdidas admisibles y una longitud total L (incluidos los accesorios del circuito) el diámetro de las tuberías se puede estimar mediante tablas o gráficos que expresen las pérdidas de carga en función del caudal para cada diámetro de la tubería, teniendo en cuenta el tipo de material del que está construida. Se recomienda que el diámetro de la tubería y accesorios sea superior a un valor tal que las pérdidas hidráulicas no superen el 10% de la altura hidráulica de bombeo, preferentemente un 2% (Alata Rey, 2015).

Para obtener el diámetro de una tubería utilizamos la siguiente formula:

$$D = \sqrt{\frac{354 * Q}{v}} \quad (4.8)$$

Donde:

Q : Caudal promedio diario [m<sup>3</sup>/s]

v : Velocidad media del agua [1.8 m/s]

D : Diámetro de la tubería [m]

## 4.2 SUB-SISTEMA FOTOVOLTAICO

En este capítulo dimensionaremos el sistema fotovoltaico. El sistema fotovoltaico es en encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico, el dimensionado del sistema nos permite determinar el número de módulos solares necesarios y la potencia de cada uno, para llegar a esto es necesario saber la energía requerida por la bomba, que se determinó en el capítulo anterior.

### 4.2.1 Energía Solar Disponible

La energía eléctrica producida por un sistema fotovoltaico depende directamente de la radiación solar disponible en el lugar donde será instalado el sistema. En lugares donde la radiación solar es baja es necesario instalar un sistema fotovoltaico más grande (de mayor área) para compensar la falta de radiación.

La radiación solar también varía a lo largo del día y del año, es por ello que para hacer un correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario contar con datos de radiación horarios, diarios o mensuales dependiendo del tipo de sistema fotovoltaico a ser instalado. En caso de pequeños sistemas PV como sistemas de bombeo rural los datos mensuales promedios de radiación solar son suficientes.

En Lambayeque se cuenta con un recurso solar abundante, pero no existen medidas de radiación solar por lo que los datos con los que se cuenta son estimaciones matemáticas o en el mejor de los casos mediciones de satélite. Las fuentes más utilizadas para determinar la radiación solar son:

- El Atlas Solar del Perú (SENAMHI, 2003)
- Datos de satélite proporcionados por la NASA («ArcGIS Web Application», s. f.)
- El software de información de radiación solar PVGIS (Europa, Africa y Asia)

Las fuentes anteriores no tienen mediciones actualizadas. Por ejemplo el Atlas Solar del Perú es una estimación numérica a partir de mediciones de temperatura en Lambayeque. En los datos proporcionados por la NASA son mediciones de satélite y en el software PVGIS no existen datos de Perú.

Debido a las razones anteriores es que para el presente trabajo se tomará como referencia la estimación hecha por Gastelo-Roque en donde se estima la radiación solar a partir de datos de temperatura pero exclusivamente para Lambayeque (Gastelo-Roque, Morales-Acevedo, & Tineo Soto, 2018).

#### 4.2.2 Dimensionamiento del Sub-Sistema Fotovoltaico

Para que el sistema funcione correctamente es necesario suministrarle energía eléctrica, el sub-sistema fotovoltaico será el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica. La energía eléctrica producida por el sistema es proporcional a la radiación solar y al área total de paneles fotovoltaicos. Como no podemos modificar la radiación solar de acuerdo a nuestras necesidades, se dimensiona el área total efectiva de módulos fotovoltaicos, de esta manera a mayor área tendremos mayor potencia y mayor energía en un tiempo determinado.

Al dimensionar un sistema fotovoltaico lo que se desea obtener es la potencia pico del sistema, la potencia pico representa la potencia que puede generar el sistema en condiciones estandarizadas, con una radiación solar incidente de  $1000\text{W/m}^2$ , a  $25^\circ\text{C}$  de temperatura ambiente y con una masa de aire AM 1.5. Estas condiciones no se dan siempre pero representan un valor estándar y cercano al funcionamiento real.

Para estimar la potencia pico del sistema  $P_p$  hacemos:

$$P_p = \frac{E_{\text{eléctrica}}}{\text{HSP} \cdot \eta_s} \quad (4.9)$$

Donde:

- 1)  $E_{\text{eléctrica}}$ : Energía eléctrica requerida por el sistema.
- 2) HSP : Hora Solar Pico.
- 3)  $\eta_s$  : Factor del sub-sistema fotovoltaico.

2) La hora solar pico representa la radiación solar en la ubicación donde se instalará el sistema y se definen de la siguiente manera:

“La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la radiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de  $1000\text{ W/m}^2$ . Una hora solar pico equivale a  $3,6\text{ MJ/m}^2$  o, lo que es lo mismo,  $1\text{ kWh/m}^2$ , la hora pico solar es fundamental en el dimensionado de los sistemas fotovoltaicos.”

Una vez calculado la potencia pico ya podemos elegir los paneles fotovoltaicos a instalar, teniendo siempre en consideración que la potencia a instalar por parte de los módulos fotovoltaicos deberá ser mayor o igual, preferiblemente superior, a la potencia pico calculada.

### 4.2.3 Conductores

La función de los conductores eléctrico será llevar la energía eléctrica desde el punto de generación en el sistema fotovoltaico hasta el punto de utilización. Realizar esta función eficientemente depende de su sección transversal, por lo que el correcto dimensionamiento de los conductores es de vital importancia.

Debido a su resistencia eléctrica, todo cable disipa, en forma de calor, parte de la energía que transporta. Así, los conductores se calculan para tener cierta caída de tensión, que equivale a la pérdida de energía aproximada de ese valor. Para reducir las pérdidas es necesario aumentar el diámetro del conductor pero después de cierto punto aumentar el diámetro no es factible económicamente, por lo que se debe determinar el diámetro ideal. Además el conductor debe poder en caso de falla la corriente de cortocircuito producida.

Para seleccionar el conductor adecuado que cumpla con las condiciones mencionadas anteriormente se debe dimensionar la sección transversal de este, para ello podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * L * I * \cos\varphi}{\rho * \Delta V} \quad (4.10)$$

Donde:

S : Sección [mm<sup>2</sup>]

L : Longitud del conductor [m]

I : Intensidad máxima

Cosφ : Factor de potencia del motor

p : Conductividad del cobre [Ω-m/mm<sup>2</sup>]

ΔV : 1-3%, Caída de tensión [V]

Para dimensionar el conductor se introduce la corriente más alta, la cual es la corriente de arranque producida en los primeros momentos de puesta en marcha del motor, la cual en la mayoría de casos es 4 veces más alta que la corriente nominal de servicio.

Una vez hemos determinado la sección idónea del conductor utilizamos las tablas del Código Nacional de Electricidad para redes eléctricas en baja tensión:

**Tabla 7: Capacidad de los conductores**

<b>CAPACIDAD DE CORRRIENTE (A)</b>			
<b>CALIBRE AWG o kcmil</b>	<b>TW 60° C</b>	<b>THW 75° C</b>	<b>THHN/THWN 90° C</b>
14	20	20	25
12	25	25	30
10	30	35	40
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
2	95	115	130
1	110	130	150
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260
250	215	255	290
350	260	310	350
500	320	380	430

Hasta tres conductores transportando corriente, en una canalización, cable o en enterramiento directo a una temperatura ambiente de 30°C

Tabla 8: Capacidad de los conductores

Fuente: (Alana Rey, 2015)

## 4.3 SUB-SISTEMA DE CONTROL Y ALMACENAMIENTO

### 4.3.1 Regulador de Carga

El regulador de carga tiene como función controlar el voltaje que ingresa a la bomba, para su dimensionamiento se trabaja con las corrientes de entrada y salida del regulador, eligiéndose el mayor valor entre ambos para seleccionar dicho equipo.

### 4.3.2 Protecciones

Las protecciones son las encargadas de actuar en caso de perturbaciones no deseadas producidas en el sistema, aislando los elementos por órdenes generadas por las mismas protecciones. Las perturbaciones más comunes se producen por:

- Climatología y factores atmosféricos
- Influencia animal y vegetación
- Envejecimiento
- Fallos electromecánicos
- Factores humanos

Los tipos de perturbaciones más comunes son:

**Cortocircuitos:** Conexión accidental entre conductores de distinta fase o entre éstos y tierra. Puede ser directa aunque normalmente será a través de un arco eléctrico. Provocan un incremento muy elevado y extraordinariamente rápido de la corriente eléctrica, lo que lleva a:

- Dificultad de corte por los interruptores
- Elevados esfuerzos electromecánicos
- Calentamiento excesivo de los materiales

**Sobrecarga:** Los sistemas se diseñan con unos valores máximos de carga o intensidad, intensidad nominal, para garantizar su correcto funcionamiento. Cuando se superan los valores nominales de intensidad aparecen sobrecargas. Los circuitos eléctricos puede tolerar sobrecargas dentro de unos límites de magnitud y tiempo, ya que se diseñan con un margen de seguridad. Las sobrecargas dan lugar a un calentamiento anormal de los materiales según la ley de joule, existen dos tipos de sobrecarga:

- Sobrecargas prolongadas: Destrucción de los materiales y equipos
- Sobrecargas sucesivas: Envejecimiento prematuro

**Retorno de energía:** Por diferentes motivos se pueden ocasionar inversiones en el sentido de la potencia u oscilaciones no deseables para el sistema ya que pueden alterar su estabilidad.

**Sobretensiones:** Aumentos accidentales de la tensión sobre la considerada como normal de funcionamiento y fuera de sus límites de seguridad. Las sobretensiones provocan:

- Deterioro de aislamientos al superar su rigidez eléctrica.
- Posible aparición de arcos eléctricos y cortocircuitos
- Aumento del riesgo para las personas y aparatos conectados a la red de distribución

**Sub-tensiones:** Descenso de los niveles de tensión por debajo de su valor nominal. Las caídas de tensión provocan un aumento de las intensidades de consumo y por tanto sobrecargas.

**Desequilibrios:** Un sistema se considera equilibrado cuando las corrientes y tensiones de cada fase tienen igual magnitud y ángulo desfase. Las asimetrías se pueden producir por repartos desiguales de cargas o por averías o incidencias en la propia red. Estos desequilibrios reducen la vida útil.

Para que un sistema de protección sea eficaz debe satisfacer las siguientes cualidades:

- **Fiabilidad:** Los sistemas de protección deben actuar siempre y sólo cuando sean necesarios.
- **Velocidad:** Los sistemas de protección deben ser los más rápidos posibles para disminuir los efectos nocivos que puedan aparecer y aislar las zonas sanas para permitir su continuo y correcto funcionamiento.
- **Sensibilidad:** Capacidad para detectar los efectos de las perturbaciones en todas las condiciones. Los casos más extremos serán condiciones de máxima y mínima carga.
- **Selectividad:** Los sistemas de protección deben actuar de tal manera que, aun en las condiciones más desfavorables solo quede aislada la parte de red afectada por la perturbación.

(Alata Rey, 2015)

Para seleccionar el interruptor termo magnético adecuado nos basaremos en el Código Nacional de Electricidad (CNE), la corriente de los interruptores térmomagnéticos debe ser mayor en un 20 a 40% de la corriente nominal:

$$I_{TM} = 1,30 \cdot (I_{nominal}) \quad (4.11)$$

# 5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

---

En este capítulo calcularemos y seleccionaremos los equipos del sistema, empezaremos calculando los requerimientos hidráulicos, para seleccionar la bomba y el motor requeridos, calcularemos la energía eléctrica demandada y con esto seleccionaremos los módulos fotovoltaicos a instalar. Finalmente, seleccionaremos los equipos de control y el sistema de almacenamiento de energía.

## 5.1 SUB-SISTEMA HIDRÁULICO

### 5.1.1 Energía Hidráulica Requerida

Cálculo del caudal

Para poder calcular la energía hidráulica requerida por el sistema, primero se deben obtener las necesidades hídricas de este, es decir el caudal necesario. Se eligieron goteros de 4 l/hora, los cuales irán inmersos en una tubería lateral de 16 mm de diámetro y 50 metros de largo, con 26 tuberías laterales. A partir de la ecuación 4.1 y lo mencionado se requiere un caudal de:

$$Q_{diario} = ng * qg * nl \quad (4.1)$$

$$Q_{diario} = 51 * 4 * 26$$

$$Q_{diario} \approx 5300 = 0.00147 \text{ m}^3/s$$

Este caudal es necesario para el riego ¼ hectárea de tomate, y lo distribuiremos durante las horas de sol diarias, esto para evitar el uso de baterías y asegurarnos la extracción del agua. Consideraremos en promedio de 7 horas de sol al día (10am – 5pm), rango típico de sol en la ubicación de la instalación. El problema con falta de horas de sol se daría en Enero donde se requieren 7.15 horas por lo que será necesario agregar un sistema de almacenamiento de agua para compensar.

Cálculo de la altura equivalente de bombeo

La altura equivalente de bombeo o altura hidráulica de bombeo es la presión que debe vencer la bomba para transportar el agua desde el pozo hasta el lugar de riego o almacenamiento. Para calcular la altura equivalente de bombeo o altura hidráulica de bombeo utilizamos la siguiente formula:

$$H_{EB} = H_e + H_d + A_p \quad (4.2)$$

Donde:

- 1)  $H_e$  : Altura estática [m]
- 2)  $H_d$  : Altura dinámica [m]
- 3)  $A_p$  : Abatimiento del pozo [m]

1) **La altura estática** representa la distancia entre el pozo y el lugar de riego o almacenamiento. En este trabajo el pozo tiene una profundidad de 9m, a esto hay que agregarle al altura extra para llegar al tanque de almacenamiento que es de 3m. Por lo que la altura estática será igual a 12.

2) **La altura dinámica** es la caída de presión cuando un líquido circula por el interior de una tubería debido a la fricción. Esta pérdida depende de la longitud de la tubería, de su diámetro y del coeficiente de fricción. La altura dinámica se calcula mediante la fórmula 4.3 de Hazem-Williams:

$$H_d = 10.67(L) \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} (d^{-4.869}) \quad (4.3)$$

Los valores para nuestro caso son:

PARÁMETRO	VALOR
L: Longitud de la tubería [m]	10
Q: caudal [m <sup>3</sup> /s]	0.00147
C: Coeficiente de Hazen-Williams	150
d: Diámetro interno de la tubería [m]	0.0254 (tentativo)

Tabla 9: Parámetros para cálculo de la altura dinámica.

Fuente: Elaboración propia

La altura dinámica será igual a:

$$H_d = 10.67(10) \left(\frac{0.00147}{150}\right)^{1.852} (0.0254^{-4.869})$$
$$H_d = 3.302$$

3) El **abatimiento** será despreciado en el presente trabajo debido a que a alturas estáticas menores a 15 en terrenos desérticos como Monsefú el abatimiento es cercano a 0.

Por lo tanto la altura equivalente de bombeo será calculada mediante 4.2:

$$H_{EB} = H_e + H_d + A_p \quad (4.2)$$

$$H_{EB} = 12 + 3.302 + 0$$

$$H_{EB} = 15.302$$

La energía hidráulica viene determinado por la fórmula:

$$E_{hidráulica} = \frac{h * Q * H_{EB}}{367} \quad (4.5)$$

En nuestro caso los valores de los parámetros son:

PARÁMETRO	VALOR
h: Número de horas de funcionamiento de la bomba	7
Q: caudal [m <sup>3</sup> /h]	5.292
<b>H<sub>EB</sub></b> : Altura equivalente de bombeo [m]	15.302

Tabla 10: Parámetros para cálculo de la energía hidráulica

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la energía hidráulica será:

$$E_{hidráulica} = \frac{7 * 5.292 * 15.302}{367}$$

$$E_{hidráulica} = 1.544 \text{ kWh/día}$$

### 5.1.2 Configuración y selección de Motor-Bomba

Como hemos visto en los capítulos anteriores se pueden instalar distintas combinaciones de motor y bomba para sistemas de bombeo fotovoltaico. Considerando el uso que le daremos, la altura equivalente, el caudal y basándonos en la Tabla 6, en el presente trabajo utilizaremos una bomba sumergible de tipo centrífuga con motor sumergible en DC, especial para uso fotovoltaico.

Para obtener la potencia de la bomba a utilizar utilizamos la siguiente formula:

$$P_{bomba} = \frac{\gamma \cdot Q_{prom} \cdot H_{EB}}{\eta_b} \quad (4.7)$$

Donde:

ss	VALOR
$\gamma$ : Peso específico del agua [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
$Q_{prom}$ : Caudal promedio [m <sup>3</sup> /s]	0.00147
$H_{EB}$ : Altura equivalente de bombeo [m]	15.302
$\eta_b$ : Eficiencia de la bomba	0.5

Tabla 11: Parámetros para cálculo de la potencia de la bomba

Fuente: Elaboración propia

Seleccionaremos la bomba a partir catálogos y curvas de selección.

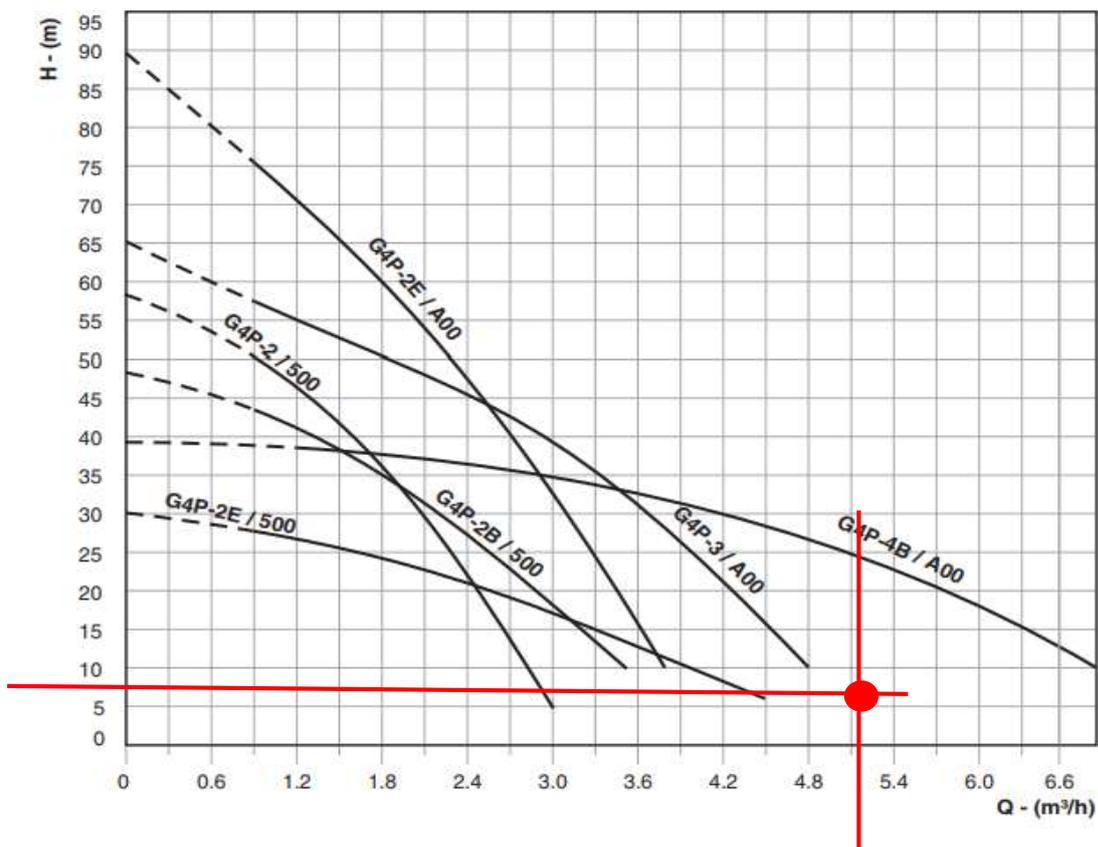


Tabla 12: Curvas para selección de la bomba.

Fuente: Catalogo de bomba

Con estos cálculos procedemos a seleccionar el motor-bomba sumergible, se seleccionó una **BOMBA SUMERGIBLE – MOTOR DC** con las siguientes características:

### CRI Pumps Modelo G4P-4B / A00

Model	Voltage (V)	Power (W)	Reqd. PV Input Power (W)	Max. Head (m)	Head Range (m)	Flow Range (LPD)*
G4P-2 / 500	48	500	650	57	50 - 5	3600 - 12000
G4P-2B / 500	48	500	650	48	44 - 10	3600 - 14000
G4P-2E / 500	48	500	650	30	27 - 6	3600 - 18000
G4P-2E / A00	110	1000	1400	89	75 - 10	3600 - 15000
G4P-3 / A00	110	1000	1400	65	57 - 10	3600 - 19000
G4P-4B / A00**	110	1000	1400	39	37 - 10	5000 - 27600

Tabla 13: Características de las bombas.

Fuente: Catalogo de la bomba.

### 5.1.3 Tuberías

Considerando el caudal promedio diario de 5.292 m<sup>3</sup>/h y una velocidad media de 1.8m/s, podemos calcular el diámetro de la tubería por medio de:

$$D = \sqrt{354 * \frac{Q}{vel}} \quad (4.8)$$

$$D = \sqrt{354 * \frac{5.292}{1.8}}$$

$$D = 32.261 \text{ mm}$$

De acuerdo al catálogo de tuberías PAVCO mostrado en los anexos el diámetro correspondiente es de 2 pulgadas.

### 5.1.4 Otros

#### Manómetro

Un manómetro es un instrumento, que se utiliza para medir la presión de los fluidos dentro de recipientes cerrados, como bien puede ser un tanque. Podemos encontrar principalmente dos versiones para medir la presión del gas y de los líquidos. Gracias a la colocación de un manómetro podremos hacer un seguimiento de la presión para evitar cualquier posible avería correspondiente con la bomba o cualquier fuga procedente de las tuberías.

El manómetro recomendado es un manómetro digital ECO1 (o similar) tipo doméstico, este manómetro mide la presión dos veces por segundo. En su pantalla digital aparece la presión instantánea así como el valor máximo o mínimo global.



Figura 15: Manómetro

Fuente: Catalogo de manómetro

## Válvulas

Las válvulas se utilizarán para controlar el paso del agua de manera manual, de esta manera se puede cortar el flujo en el sistema. Se utilizarán válvulas del mismo diámetro de las tuberías.



Figura 16: Válvula

Fuente: Catalogo de tuberías

## 5.2 SUB-SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 5.2.1 Cálculo de demanda eléctrica

Y para una bomba solar sumergible en al cual la bomba viene unida al motor, la energía eléctrica requerida por el motor se determina mediante:

$$E_{eléctrica} = \frac{E_{hidráulica}}{\eta_{m-b}} \quad (4.4)$$

Donde:

$\eta_{m-b}$  : Eficiencia del motor-bomba.

La eficiencia motor-bomba considera las pérdidas en el proceso de transformación de energía eléctrica a energía mecánica por parte del motor y de la bomba y su valor es de acuerdo a la configuración seleccionada, a la altura de bombeo y al caudal.

La Tabla 6, muestra las eficiencias motor-bomba de acuerdo a la configuración y a la altura.

Con estas consideraciones la energía eléctrica consumida será:

$$E_{eléctrica} = \frac{1.544}{0.45}$$

$$E_{eléctrica} = 3.432 \frac{kWh}{día}$$

### 5.2.2 Energía Solar Disponible

Debemos obtener la radiación solar en el lugar en donde será instalado el sistema, en nuestro caso para Monsefú. Debido a la inexistencia de datos de radiación in situ, tomaremos valores de radiación de la ciudad de Lambayeque considerando la ubicación cercana y condiciones climáticas semejantes.

De acuerdo a (Gastelo-Roque et al., 2018) los promedios mensuales de radiación solar directa en Lambayeque-Perú son:

MES	RADIACIÓN SOLAR [kWh/m <sup>2</sup> /día]
ENERO	5.706
FEBRERO	5.550
MARZO	5.839
ABRIL	5.396
MAYO	4.895
JUNIO	4.471
JULIO	4.479
AGOSTO	4.893
SETIEMBRE	5.574
OCTUBRE	5.948
NOVIEMBRE	5.980
DICIEMBRE	5.864
PROMEDIO	5.706

Tabla 14: Radiación solar en Lambayeque.

Fuente: (Gastelo-Roque et al., 2018)

Debemos seleccionar el mes con el menor valor de radiación solar como mes de referencia. Con los datos anteriores podemos notar que el mes con menor radiación es el mes de Junio con 4.471 kWh/m<sup>2</sup> cada día o lo que es lo mismo con 4.47 HSP. Así que tomaremos ese valor para dimensionar el sistema.

### 5.2.3 Módulos Fotovoltaicos

Calcularemos la potencia pico del sistema de la siguiente manera:

$$P_p = \frac{E_{el\acute{e}ctrica}}{HSP * \eta_s} \quad (4.9)$$

$$P_p = \frac{3.432}{4.47 * 0.55} = 1.400 \text{ kW}$$

Debemos seleccionar un módulo o un conjunto de módulos que tengan una potencia pico mínimo de 1400 W.

Del Catálogo seleccionamos 6 módulos tipo:

- SUNMODULE SW 260 POLY

Las características de estos módulos son:

## PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		260 Wp
Maximum power	$P_{max}$	260 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	38.4 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	31.4 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8.94 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	8.37 A
Module efficiency	$\eta_m$	15.51 %

Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

Figura 17: Características del módulo PV. Fuente: Data Sheet Módulo PV

## 5.3 SUB-SISTEMA DE CONTROL

### 5.3.1 Regulador de carga

El regulador de carga es el dispositivo que se encargará de regular el voltaje que ingresa a la bomba. Para la selección del regulador de carga es necesario saber la corriente que deberá soportar a la entrada y salida del regulador.

Para el cálculo de la máxima corriente de entrada del regulador ( $I_{Re}$ ) que proviene directamente del panel, se emplea la siguiente expresión:

$$I_{regulador,e} = 1.25 \cdot I_{cc} \quad (4.10)$$

Donde 1.25 es un factor de seguridad e  $I_{cc}$  es la corriente en cortocircuito del sistema. La configuración del sistema actual será de los 6 módulos en 24 voltios en paralelo.

Por lo que en nuestro caso la corriente de entrada al regulador es 8.94 A por el número de módulos:

$$I_{regulador,e} = 1.25 \cdot 8.94 \cdot 6 = 67.05 A$$

Para el cálculo de la máxima corriente a la salida del regulador ( $I_{Rs}$ ) del lado de la instalación que alimenta a la bomba de agua, se emplea la siguiente expresión:

$$I_{regulador,s} = 1.25 \cdot \frac{P_{trabajo-bomba}}{V_{nominal}}$$

La corriente a la salida del regulador será:

$$I_{regulador,s} = 1.25 \cdot \frac{1000}{24} = 52.08 A$$

Por lo tanto, el regulador seleccionado deberá soportar al menos una corriente de 67 amperios en la entrada y 52 amperios a la salida.

Considerando que el regulador de carga trabaja directamente con la bomba, se recomienda que sea del mismo fabricante de la bomba para evitar problemas de incompatibilidad. Seleccionaremos un regulador de carga del mismo fabricante, seleccionando el regulador de carga Regulador TriStar MPPT™ 60 A hasta 150 Voc con las siguientes características.

Característica	Valor
Entrada Nominal Solar	1600W
Corriente Máxima Salida	60 <sup>a</sup>
Voltaje Máximo	150 V

Tabla 15: Características del regulador

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Conductores

Para la selección de los cables es necesario saber la carga conectada al sistema (la bomba), consideraremos 2 diferentes clases de cables, uno para el cableado desde los módulos fotovoltaicos hasta el regulador de carga y otro de desde la salida del regulador hasta la bomba.

Para dimensionar los cables utilizaremos la fórmula indicada en el capítulo de diseño:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\rho \cdot \Delta V} \quad (4.11)$$

Ambos cables para el sistema serán para DC, formado por 2 conductores activos negativo y positivo). El dimensionado se hará por análisis de capacidad de corriente y caída de tensión.

**CABLE CLASE I:** Desde el módulo fotovoltaico hasta el regulador de carga.

Intensidad máxima permitida:

$$I_{m\acute{a}xima} = I_{CC}$$

$$I_{m\acute{a}xima} = 8.94 \cdot 6 \cdot 1.25 = 67.05$$

Caída de tensión máxima en ese tramo, consideraremos 1%.

$$\Delta V \leq 1\% \cdot V_{max}$$

$$\Delta V \leq 1\% \cdot 38.4$$

$$\Delta V \leq 0.384$$

Sección del conductor:

$$S = \frac{2 * L * I * \cos\varphi}{\rho * \Delta V} \quad (4.11)$$

Donde:

Parámetro	Valor
L: Longitud que recorre el cable desde la caja de conexión del panel solar hasta el regulador de carga. [m]	2.5
$\rho$ : Conductividad del cobre [m/ $\Omega$ .mm]	56
Cos $\varphi$ : Factor de potencia del motor	1
$\Delta V$ : Caída de tensión admisible	1%
I: Intensidad máxima	67.05

Tabla 16: Parámetros para el cálculo del conductor.

Fuente: Elaboración propia

Por lo que la sección de los conductores de la clase I será:

$$S = \frac{2 * 2.5 * 67.05 * 1}{56 * 0.384}$$

$$S = 15.590$$

**CABLE CLASE II:** Desde el regulador de carga hasta el motor de la bomba- Intensidad máxima permitida:

$$I_{m\acute{a}xima} = I_{RS}$$

$$I_{m\acute{a}xima} = 52.08$$

Caída de tensión máxima en ese tramo, consideraremos 3%.

$$\Delta V \leq 3\% \cdot 24$$

$$\Delta V \leq 3\% \cdot 24$$

$$\Delta V \leq 0.72$$

Sección del conductor:

$$S = \frac{2 * L * I * \cos\varphi}{\rho * \Delta V}$$

Donde:

Parámetro	Valor
L: Longitud que recorre el cable desde el regulador de carga hasta la bobina. [m]	10
$\rho$ : Conductividad del cobre [m/ $\Omega$ .mm]	56
$\cos\phi$ : Factor de potencia del motor	1
$\Delta V$ : Caída de tensión admisible	1%
I: Intensidad máxima	52.08

Tabla 17: Parámetros para el cálculo del conductor

Fuente: Elaboración propia

Por lo que la sección de los conductores de la clase II será:

$$S = \frac{2 * 10 * 52.08 * 1}{56 * 0.72} = 25 \text{ mm}^2$$

Finalmente tenemos:

CLASE	LONGITUD [m]	CORRIENTE QUE DEBE SOPORTAR [A]	SECCIÓN DEL CONDUCTOR REQUERIDA [mm <sup>2</sup> ]
I: Panel-Regulador	2.5	67.00	15.59
II: Regulador-motor	10	52.08	25

Tabla 18: Requisitos de los conductores Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores podemos seleccionar los conductores, para los cuales seleccionamos conductores con las siguientes características.

CLASE	SECCIÓN [mm <sup>2</sup> ]	TIPO	CALIBRE [mm <sup>2</sup> ]	VOLTAJE MÁXIMO SOPORTADO	MARCA (TENTATIVA)
I: Panel-Regulador	16	TW 80 - 16	16	450V	INDECO
II: Regulador-motor	25	TW80 - 25	25	450V	INDECO

Tabla 19: Conductores seleccionados. Fuente: Elaboración propia

### Conductor a tierra

Para la protección y seguridad de la instalación es necesario aterrizar el sistema, para ello se debe utilizar un sistema de puesta a tierra y un cable adicional a tierra, esto para evitar la aparición de tensiones peligrosas y permitir enviar a tierra las corrientes originadas por las descargas de origen atmosférico. De acuerdo al Código Nacional de Electricidad utilización cuando la sección del conductor activo es menor a 16 mm<sup>2</sup>, el cable a tierra deberá ser de la misma sección del conductor, por lo tanto:

CLASE	SECCIÓN DEL CONDUCTOR [mm <sup>2</sup> ]	SECCIÓN DEL CONDUCTOR A TIERRA [mm <sup>2</sup> ]
I: Panel-Regulador	16	16
II: Regulador-motor	25	25

Tabla 20: Conductor a tierra

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Protecciones

#### Fusibles

Para la protección contra sobre intensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos se usa fusibles. Para el presente caso se usará cartuchos de fusible tipo cuchilla gPV 1000V DC de uso específico para instalaciones fotovoltaicas de la marca DF Electric. Este tipo de fusibles proporciona una adecuada protección contra sobrecargas y cortocircuitos de acuerdo a la norma IEC 60269-6, con una corriente mínima de fusión de 1.35\*IN capaz de interrumpir el paso de todas las corrientes que vayan desde su valor de intensidad nominal hasta su poder de corte asignado. Por lo tanto, la corriente para seleccionar el fusible será:

LOCALIZACIÓN	CORRIENTE	CORRIENTE DEL FUSIBLE	SELECCIÓN DEL FUSIBLE	PODER DE CORTE
Panel-Regulador	<b>67.05</b>	<b>80A</b>	CEO80, clase gG, 500 V CA, 80 A	80 kA a 500 V
Regulador-Bomba	<b>52.03</b>	<b>60A</b>	BAO60, clase gG, 500 V CA, 60 A	80 kA a 500 V

Tabla 21: Características de los fusibles

Fuente: Elaboración propia

Para la selección de la llave termomagnética como protección para la instalación contra corto circuitos y sobrecargas que puedan producirse, se seleccionó la siguiente llave termomagnética.

**Características:**



Figura 18: Llave termomagnética.

Fuente: Catálogo Llaves Termomagnética

## 5.4 SUB-SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Depósito de almacenamiento de agua.

En nuestro presente trabajo no utilizaremos un sistema de baterías, por lo que se almacenará el agua para riego en caso haya exceso de energía y no toda el agua extraída sea consumida inmediatamente. Para ello utilizaremos un tanque de agua marca Rotoplas (o similar) con una capacidad de 2500 litros.



Figura 19: Acumulador de agua.

Fuente: Catalogo Rotoplast

## **5.5 INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA**

### **5.5.1 Instalación**

La instalación de un sistema fotovoltaico es sencilla, es necesario y muy importante respetar la normativa y reglamentos aplicables a instalaciones eléctricas.

#### Módulos fotovoltaicos

Los módulos deben instalarse en un lugar sin sombras, lejos de árboles o edificios que puedan producir sombras en los módulos PV, tomando en cuenta que la posición del sol cambia con las estaciones y que los árboles crecen. Debe procurarse que los módulos estén lo más lejos posible de posibles daños por inundaciones, y de preferencia estén cercados debido a vehículos, animales, niños, etc. Su instalación debe ser fija.

Al momento de la instalación deben seguirse las instrucciones del fabricante. Todas las conexiones deben estar aisladas y revisarse después de la instalación, los cables eléctricos deben protegerse de posibles daños y realizar una conexión a tierra si es necesaria.

#### **Unidades de Motor/Bomba sumergibles**

Todas las conexiones y empalmes de los cables deben verificarse, se debe conectar un cable de soporte al motor, en la unidad de la bomba, si se utilizan tuberías verticales de plástico. Las instrucciones de inicio deben seguirse de cerca. Normalmente, la dirección de rotación se comprueba comparando el flujo y la presión con las conexiones eléctricas de la manera correcta y luego se invierten. Sin embargo, en algunos casos, invertir las conexiones podría dañar la unidad. Se deben seguir las instrucciones del fabricante. Las bombas centrífugas todavía bombean agua cuando funcionan al revés, pero de manera menos eficiente.

### **5.5.2 Mantenimiento**

Las bombas solares normalmente no requieren más que simples funciones de mantenimiento que solo exigen habilidades bastante básicas. El problema principal con ellos en este momento es la falta de familiaridad; la naturaleza de "caja negra" de los componentes de la bomba solar hace que su función parezca misteriosa y puede desalentar a los agricultores o mecánicos locales de intentar corregir cualquier falla que se desarrolle.

La única función de mantenimiento relativamente frecuente necesaria con la mayoría de los sistemas es limpiar la matriz fotovoltaica de vez en cuando si se cubre de polvo. El subsistema de motobomba no es diferente de una bomba eléctrica de red en términos de requisitos de mantenimiento, que en común con los sistemas eléctricos de la red debe ser mínimo.

Posiblemente, la principal causa de fallas sea el daño causado por animales o personas a la matriz fotovoltaica relativamente frágil. En general, es necesario instalar bombas solares dentro de un recinto cercado para protección. Por lo tanto, la cerca debe mantenerse en buenas condiciones y la puerta debe estar segura.

Existen varias fallas que pueden ser corregidas por el usuario sin herramientas o equipos especiales; por ejemplo:

- Mala conexión eléctrica causada por terminales o enchufes sucios, húmedos o corroídos.
- Tamices y filtros bloqueados en la bomba
- Fallo de la bomba de succión debido a la pérdida de cebado causada por una válvula de pie defectuosa o fugas de aire en la línea de succión,
- Conexiones de tubos o mangueras con fugas
- Fugas sello de la glándula de la bomba
- Algunos motores necesitan reemplazar las escobillas; esto es generalmente una simple operación descrita en el manual, (mucho más simple que, por ejemplo, dar servicio a una pequeña bomba con motor)
- Cuando se trata de cajas de engranajes o transmisión mecánica (generalmente con bombas de desplazamiento positivo solamente), es posible que sea necesario un cambio ocasional de aceite o que las correas o cadenas deban reajustarse o ajustarse ocasionalmente.

Cuando un componente vital del sistema sufre daños, lo cual debería ser una ocurrencia rara, entonces es posible que se requiera que un ingeniero capacitado identifique la causa de la falla. Por lo general, sería inusual desmantelar e intentar reparar un componente defectuoso en el campo; normalmente el componente sospechoso se eliminaría y se reemplazaría un reemplazo.

El desmontaje y el re-ensamblaje es generalmente una cuestión simple que requiere no más de unas pocas llaves inglesas y un destornillador, así que si se puede identificar el elemento defectuoso y se puede obtener un reemplazo, no es difícil realizar la sustitución (Kenna & Gillett, 1985).

## 6 ANÁLISIS ECONÓMICO

En los 5 capítulos anteriores se ha desarrollado el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico, en este capítulo nos centraremos en evaluar los costos y en realizar un análisis económico del sistema propuesto, a continuación se detalla en el siguiente cuadro:

DESCRIPCIÓN	COSTO (S/.)
6 Módulo Fotovoltaicos 300 Wp	7000.00
Regulador de carga 60 A – 1600W	100.00
Bomba superficial 1000 W (1.5HP)	1500.00
Tablero de control y llaves de protección	100.00
Acumulador de agua 2500 litros	700.00
Estructura de acero galvanizado o aluminio	300.00
Cable eléctrico	100.00
Contador de agua	100.00
Tubería PVC 1”	50.00
Demás accesorios	50.00
COSTO TOTAL DEL SISTEMA	10 500.00

Tabla 22: Presupuesto Tentativo del Sistema

Fuente: Elaboración propia

### Análisis económico

El análisis económico nos muestra la viabilidad del proyecto, los indicadores más utilizados son el VAN, TIR y el PayBack por lo que a continuación hallaremos estos indicadores.

Concepto	Valor	Unidad
Energía Anual	584.00	kWh
Tiempo estimado de la instalación	20	años
Inversión inicial	S/. 10,500.00	S/.
Coste de operación y mantenimiento	S/. -	S/.
Energía generada durante la vida del sistema	584.00	kWh
Tasa de descuento	12%	
Costo de un sistema con grupo electrógeno	S/. 7,000.00	S/.
Costo del kWh generador en el grupo electrógeno	S/. 1.20	S/.

Tabla 23: Datos para el análisis económico.

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis económico compararemos el costo del sistema fotovoltaico con el costo de un sistema de bombeo que utilice un grupo electrógeno, con los costos de la Tabla 23. El flujo de dinero y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 24 y Tabla 25 respectivamente.

<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>EGRESOS</b>	S/. - 10,500.00	S/. -									
<b>Inversión inicial</b>	S/. - 10,500.00										
<b>INGRESOS</b>	S/. 7,000.00	S/. 700.80									
<b>Ahorro en combustible fósil</b>		S/. 700.80									
<b>Costo del grupo electrógeno</b>	S/. 7,000.00										
<b>BENEFICIOS</b>	S/. - 3,500.00	S/. 700.80									
<b>AÑO</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	
<b>EGRESOS</b>	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	
<b>Inversión inicial</b>											
<b>INGRESOS</b>	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	
<b>Ahorro en combustible fósil</b>	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	
<b>Costo del grupo electrógeno</b>											
<b>BENEFICIOS</b>	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	S/. 700.80	

Tabla 24: Flujo de caja

Fuente: Elaboración propia

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
<b>VAN</b>	1734.59
<b>TIR</b>	19%
<b>PAYBACK</b>	4.99

Tabla 25: Resultados del análisis económico.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis económico muestran que el proyecto es factible comparado con un sistema de grupo electrógeno.

### **Beneficio Ambiental**

La implementación del presente trabajo solo disminuirá costos económicos, sino también generará un beneficio ambiental relacionado a la disminución en la producción de CO<sub>2</sub> que se da al generar energía eléctrica a través de las centrales térmicas.

Para calcular la emisión de CO<sub>2</sub> se empleó la “Herramienta para la Estimación de las reducciones de CO<sub>2</sub> – Generación Eléctrica por Energías Renovables para la Red Interconectada” dicha herramienta virtual ha sido creada por el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) con el apoyo del Banco Mundial. El dato del factor de emisión de CO<sub>2</sub> es de 0.569 tCO<sub>2</sub>/MWh.

Con la información calculada previamente y considerando que en nuestro país la energía eléctrica generada proviene en un 50% de las centrales térmicas, decimos que cambiando una bomba eléctrica por una bomba con panel solar, en un año dejaríamos de emitir: 285 kg CO<sub>2</sub>.

# 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

A lo largo de este trabajo hemos diseñado un sistema de bombeo solar, capaz de bombear agua para el riego de 2 hectáreas de cultivo desde un pozo tubular. Para ello hemos partido desde las necesidades hídricas del sistema hasta la selección de los equipos que los conforman. En este capítulo daremos las conclusiones del proyecto y recomendaciones.

## 7.1 CONCLUSIONES

- Se logró describir los fundamentos teóricos de la tecnología solar fotovoltaica para el bombeo de agua, definiéndose el concepto de energía fotovoltaica, los tipos de sistemas de bombeo
- Se determinó el recurso solar en Lambayeque basándonos en estimaciones realizadas en investigaciones previas. Los meses con radiación son los de Octubre, Noviembre y Diciembre pero se debe seleccionar el mes con menor radiación el cual es el mes de Junio con  $4.471 \text{ kWh/m}^2$  cada día o lo que es lo mismo con 4.47 HSP. Así que se tomó ese valor para dimensionar el sistema.
- Se dimensionó el sistema hidráulico, el sistema de bombeo estará compuesto por una bomba sumergible de tipo centrífuga con motor sumergible en DC, especial para uso fotovoltaico. Se requiere bombear un caudal promedio de  $5.292 \text{ m}^3/\text{h}$  a una altura de  $15.3 \text{ m}$ . El consumo de energía hidráulica es equivalente a  $1.544 \text{ kWh/día}$ . Lo que según las curvas de selección requiere una capacidad de bombeo de 1000W. La tubería que utilizará el sistema será de 2 pulgadas.
- Se determinó los parámetros de consumo: para el sub-sistema fotovoltaico, el sistema consumirá  $3.432 \text{ kWh/día}$  de energía eléctrica, la potencia eléctrica requerida considerar el recurso solar de Lambayeque será de 1400W, por lo que se seleccionó 6 módulos de 260W que le proveen una potencia pico instalada de 1560W-p. La energía eléctrica será entregada a 24V en corriente continua (DC). El regulador seleccionado deberá soportar al menos una corriente de 67 amperios en la entrada y 52 amperios a la salida, los conductores a utilizar serán TW80-16 y TW80-25 con conductores a tierra de  $16 \text{ mm}^2$  y  $25 \text{ mm}^2$  de sección respectivamente. Se utilizaran 2 fusibles de 80A y 60A y una llave termomagnética C120.
- Se diseñó un sistema de almacenamiento, no se utilizará un sistema de baterías para disminuir costos del sistema, por lo que se almacenara agua en tanque de 2500l.

- Se seleccionó los siguientes equipos:
  - 6 Módulos Fotovoltaicos de 260W SUNMODULE SW 260 POLY
  - 1 Bomba Sumergible de 1000W CRI Pumps Modelo G4P-4B / A00
  - 1 Regulador de carga de 1600W TriStar MPPT™ 60 A
  - 1 Acumulador de agua de 2600 l Rotoplast
  
- Se realizó un presupuesto del sistema, el costo aproximado de la implementación del sistema es de: S/. 10 500.00, el análisis económico muestra que el proyecto es factible, arrojando un VAN de 1734.59, un TIR de 19% y un PAYBACK de 4.99.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda como futuras mejoras a este trabajo:

- Implementar el sistema diseñado en este trabajo para validar los resultados.
- Dimensionar sistemas fotovoltaicos de bombeo para riego en otros lugares para confirmar un funcionamiento similar al obtenido en este trabajo.
- Utilizar tecnología proveniente de otros proveedores.
- Simular el sistema en Matlab o un software similar

## 8 REFERENCIAS

---

- Alata Rey, J. E. (2015). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares - Caso UNALM*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Aqueveque Medina, E. J. (2009). *Bombeo de Agua para Riego en Cerro Calán Utilizando Energía Solar Fotovoltaica*. Chile.
- ArcGIS Web Application. (s. f.). Recuperado 31 de agosto de 2018, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Arija Gonzales, D. (2010). *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.
- Available energy. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2018, de <https://www.coursera.org/learn/solar-cells/home/welcome>
- Bravo Damian, V. Y., & Gamarra Vilchez, D. J. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de ingeniería electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo* (Tesis de Grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Cervantes Herrejón, J. (2009). *Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaicos* (Tesis de Maestría). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cuernava, México.
- Gastelo-Roque, J. A., Morales-Acevedo, A., & Tineo Soto, J. (2018). Estimación de la radiación solar y ángulos óptimos de inclinación en Lambayeque(Perú) utilizando el modelo de Hargreaves-Samani. *Ciencia, Tecnología y Humanidades UNPRG*.
- Green, M. A. (2000). Photovoltaics: technology overview. *Energy Policy*, 28(14), 989-998. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00086-0)
- HIVOS, Soluciones Prácticas, & CNV. (2013). *Plan de Programa Nacional de Biodigestores en Perú*. Recuperado de <http://hubenergetico.com/ciner/plan-de-programa-nacional-de-biodigestores-en-peru/>

- Hoffmann, W. (2006). PV solar electricity industry: Market growth and perspective. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(18-19), 3285-3311.  
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.09.022>
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>
- Kenna, J., & Gillett, W. B. (1985). *Solar Water Pumping: A Handbook*. Intermediate Technology Publications.
- Letcher, T. M. (2018). 1 - Why Solar Energy? En *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems* (pp. 3-16). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811479-7.00001-4>
- Mundo-Hernández, J., de Celis Alonso, B., Hernández-Álvarez, J., & de Celis-Carrillo, B. (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.029>
- Peng, J., Lu, L., & Yang, H. (2013). Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 255-274. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.035>
- Practical Action. (2010). Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica. Recuperado de [www.practicalaction.com](http://www.practicalaction.com)
- Rockett, A. A. (2010). The future of energy – Photovoltaics. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 14(6), 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2010.09.003>
- SENAMHI. (2003). *Atlas Solar del Perú*. Lima: SENAMHI.
- Silveira, J. L., Tuna, C. E., & Lamas, W. de Q. (2013). The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 133-141.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.054>

- Surek, T. (2005). Crystal growth and materials research in photovoltaics: progress and challenges. *Journal of Crystal Growth*, 275(1-2), 292-304.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2004.10.093>
- Tapia Reyes, R. (2014). *Bombeo de agua para riego en la localidad de Tuman utilizando energía solar fotovoltaica* (Tesis de Grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Tyagi, V. V., Rahim, N. A. A., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. A. /L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 443-461. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.028>
- Villalobos Cabrera, J. (2014). *Plan Maestro de Electrificación rural con energía fotovoltaica en la región Lambayeque*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- World Health Organization WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition*. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emergencies/qa/emergencies\\_qa5/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/emergencies/qa/emergencies_qa5/en/)

# **ANEXOS**

**ANEXO 1:** FOTOGRAFÍAS

**ANEXO 2:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS

**ANEXO 3:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA

**ANEXO 4:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLEADO ELÉCTRICO

**ANEXO 5:** ESPECÍFICACIONES TÉCNICAS DE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA

**ANEXO 6:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS

**ANEXO 7:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ALMACENADOR DE AGUA

**ANEXO 8:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR DEL MANÓMETRO

**ANEXO 9:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR DE CARGA

## ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS



Fotografías del terreno de cultivo. Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS

# Sunmodule<sup>®</sup> Plus SW 290 - 300 MONO



Data sheet



## QUALITY BY SOLARWORLD

SolarWorld's foundation is built on more than 40 years of ongoing innovation, continuous optimization and technology expertise. All production steps from silicon to module are established at our production sites ensuring the highest possible quality for our customers. Our modules come in a variety of different sizes and power, making them suitable for all global applications – from residential solar systems to large-scale power plants.

- 1. Extremely tough and stable, despite its light weight – able to handle loads up to 178 psf (8.5 kN/m<sup>2</sup>)
- 2. Tested in extreme weather conditions – hail-impact tested and resistant to salt spray, frost, ammonia, dust and sand
- 3. Proven guarantee against hotspots and PID-free to IEC 62804-1
- 4. SolarWorld Efficeil™ PERC cell technology for the highest possible energy yields.
- 5. Patented corner design with integrated drainage for optimized self-cleaning
- 6. High-transmissive glass with anti-reflective coating
- 7. Long-term safety and guaranteed top performance – 25-year linear performance warranty; 20-year product warranty



# Sunmodule<sup>®</sup> Plus SW 290 - 300 MONO



## PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 290	SW 295	SW 300
Maximum power	$P_{max}$	290 Wp	295 Wp	300 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	39.6 V	39.8 V	40.0 V
Maximum power point voltage	$V_{mppt}$	31.9 V	32.3 V	32.6 V
Short circuit current	$I_{sc}$	9.75 A	9.78 A	9.83 A
Maximum power point current	$I_{mppt}$	9.20 A	9.25 A	9.31 A
Module efficiency	$\eta_m$	17.3 %	17.59 %	17.89 %

Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled, ID 000003935f)

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

## PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 290	SW 295	SW 300
Maximum power	$P_{max}$	219.6 Wp	223.6 Wp	226.7 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	36.7 V	36.9 V	37.0 V
Maximum power point voltage	$V_{mppt}$	29.5 V	29.9 V	30.2 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.99 A	8.01 A	8.06 A
Maximum power point current	$I_{mppt}$	7.43 A	7.47 A	7.52 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25 °C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 97% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.

## PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
Maximum system voltage SC II / NEC	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Number of bypass diodes	3
Operating temperature	-40 to +85 °C
Maximum design loads (Two rail system)*	113 psf downward, 64 psf upward
Maximum design loads (Three rail system)*	178 psf downward, 64 psf upward

\*Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.

## COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Monocrystalline PERC
Cell dimensions	6 in x 6 in (156 mm x 156 mm)
Front	Tempered safety glass with ARC (EN 12150)
Back	Multi-layer polymer backsheet, white
Frame	Black anodized aluminum
J-Box	IP65
Connector	PV wire (UL4703) with Amphenol UTX connectors
Module fire performance	(UL 1703) Type 1

## DIMENSIONS / WEIGHT

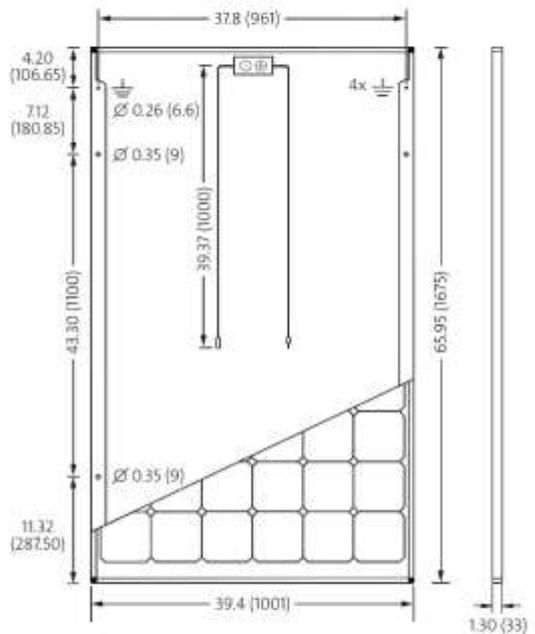
Length	65.95 in (1675 mm)
Width	39.40 in (1001 mm)
Height	1.30 in (33 mm)
Weight	39.7 lb (18.0 kg)

## THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC $I_{sc}$	0.07 %/°C
TC $V_{oc}$	-0.29 %/°C
TC $P_{mppt}$	-0.39 %/°C

## ORDERING INFORMATION

Order number	Description
82000482	Sunmodule Plus SW 290 mono (black frame)
82000430	Sunmodule Plus SW 295 mono (black frame)
82000432	Sunmodule Plus SW 300 mono (black frame)



All units provided are imperial, SI units provided in parentheses.

## CERTIFICATES AND WARRANTIES

Certificates	IEC 61730	IEC 61215	UL 1703
	IEC 62716	IEC 60068-2-68	IEC 61701
Warranties*	Product Warranty	20 years	
	Linear Performance Guarantee	25 years	

\*Supplemental warranty coverage available through SolarWorld Assurance<sup>™</sup> Warranty Protection Program – [www.solarworld.com/assurance](http://www.solarworld.com/assurance)

SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

SW-017506US 20170622

## ANEXO 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA

COMMITMENT | RELIABILITY | INNOVATION

### G4P SERIES

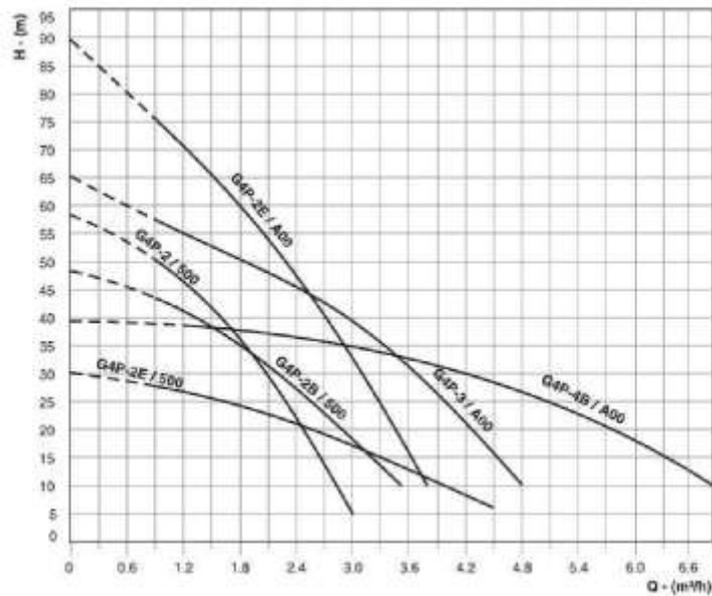
#### Specifications

Nominal Dia.	4"
Power range	500 - 1000 W
Voltage	48 & 110 V, D.C.
Max. Head	89 m
Max. Discharge	7 m <sup>3</sup> /h
Max. Immersion depth	30 m
Motor type	Oil filled DC motor
Impeller	Multistage centrifugal
Outlet size	1 1/4" & 2"

#### Materials of Construction

Outlet	Stainless steel
Pump outer shell	Stainless steel
Motor outer shell	Stainless steel
Impeller	Thermoplastic
Bearing	Ball bearing

#### Performance Curves



#### Accessories supplied

Control box | Level sensor probes | Spare Centrifugal impeller | Power cable to connect control box & PV Modules | Cable splicing kit

#### Performance Table

Model	Voltage (V)	Power (W)	Reqd. PV Input Power (W)	Max. Head (m)	Head Range (m)	Flow Range (LPD)*
G4P-2 / 500	48	500	650	57	50 - 5	3600 - 12000
G4P-2B / 500	48	500	650	48	44 - 10	3600 - 14000
G4P-2E / 500	48	500	650	30	27 - 6	3600 - 18000
G4P-2E / A00	110	1000	1400	89	75 - 10	3600 - 15000
G4P-3 / A00	110	1000	1400	65	57 - 10	3600 - 19000
G4P-4B / A00**	110	1000	1400	39	37 - 10	5000 - 27600

The above performance curve are plotted under testing with maximum input DC power.  
\* Flow range in LPD is calculated based on 4 hours bright sunny day.

\*\* 2" Outlet

In view of continuous developments, the information / descriptions / specifications / illustrations are subject to change without notice.

## ANEXO 4: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLEADO ELÉCTRICO

**INDECO**

empresa Nexans

### TW-80

#### Usos

Aplicación general en instalaciones fijas; edificaciones, interior de locales con ambiente seco o húmedo, etc. Generalmente se instalan en tubos conduit.

#### Descripción

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido, cableado ó flexible. Aislamiento de PVC en doble capa hasta 10 AWG y 6 mm<sup>2</sup>. Aislamiento en una capa desde 8 AWG y 10 mm<sup>2</sup>.

#### Características

Buena resistencia dieléctrica, resistencia a la humedad, productos químicos, grasas, aceite y al calor hasta la temperatura de servicio. Retardante a la llama.

#### Marca

INDECO S.A. TW-80 450/750 V <Sección> <Año de Fabricación>

#### Calibres

1.5 mm<sup>2</sup> - 300 mm<sup>2</sup>  
16 AWG - 350MCM

#### Embalaje

De 1.5 a 10 mm<sup>2</sup>: En rollos estándar de 100 metros.  
De 10 a 300 mm<sup>2</sup>: En carretes de madera.

#### Colores

De 1.5 a 10 mm<sup>2</sup>: Amarillo, azul, blanco, negro, rojo y verde.  
Mayores de 16 mm<sup>2</sup>: Solo en color negro.



**Normas de Fabricación**  
NTP 370.252  
**Tensión de servicio**  
450/750 V  
**Temperatura de operación**  
80°C

<b>TABLA DE DATOS TECNICOS TW - 80 (AWG / MCM)</b>									
<b>CALIBRE CONDUCTOR</b>	<b>SECCION NOMINAL</b>	<b>Nº HILOS</b>	<b>DIAMETRO HILO</b>	<b>DIAMETRO CONDUCTOR</b>	<b>ESPESOR AISLAMIENTO</b>	<b>DIAMETRO EXTERIOR</b>	<b>PESO</b>	<b>AMPERAJE (*)</b>	
								<b>AIRE</b>	<b>DUCTO</b>
<b>AWG/MCM</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>		<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>Kg/Km</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>ALAMBRES</b>									
16	1.3	1	1.24	1.24	0.7	2.7	17	15	12
14	2.1	1	1.57	1.57	0.8	3.2	26	28	22
12	3.3	1	1.98	1.98	0.8	3.6	38	33	28
10	5.3	1	2.50	2.50	0.8	4.1	56	44	33
8	8.4	1	3.15	3.15	1	5.2	88	66	44
<b>CABLES</b>									
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	28	22
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	33	28
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	60	44	33
8	8.4	7	1.20	3.61	1	5.6	96	66	44
6	13.3	7	1.53	4.60	1	6.6	147	88	61
4	21.1	7	1.93	5.80	1.2	8.2	231	116	77
2	33.6	7	2.44	7.31	1.2	9.7	353	154	105
1/0	53.4	19	1.87	8.58	1.4	11.4	539	215	138
2/0	67.4	19	2.10	9.60	1.4	12.4	671	248	160
3/0	85.1	19	2.35	10.82	1.6	14.1	850	286	182
4/0	107.2	19	2.64	12.15	1.6	15.4	1058	330	215
350	177.5	37	2.44	15.69	2	19.7	1740	462	286

## Ficha técnica del producto

### Características

# A9N18345

## Int. Termomagnético C120N 2X80A Curva B



### Principal

Rango de producto	C120
Distancia	Acti 9
Nombre del producto	C120
Tipo de producto o componente	Disyuntor en miniatura
Modelo de dispositivo	C120N
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Posición de polo de neutro	Izquierda
Corriente nominal	80 A a 30 °C
Tipo de red	CA
Tipo de unidad de control	Térmico-magnético
Código de curva de disparo ins	B
Poder de corte	6 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 20 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - <= 250 V CC 10000 A Icn conforme a EN / IEC 60898-1 - 230...400 V CA 50/60 Hz
Idoneidad para el seccionamiento	Sí conforme a IEC 60947-2

### Complementario

Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Tensión asignada de empleo	<= 250 V CC 220...240 V CA 50/60 Hz 380...415 V CA 50/60 Hz 440 V CA 50/60 Hz 230...400 V CA 50/60 Hz
Límite de enlace magnético	3...5 x In
[Ics] poder de corte en servicio	4.5 kA a 75 % de ruptura cap. conforme a EN/IEC 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 7.5 kA a 75 % de ruptura cap. conforme a EN/IEC 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 15 kA a 75 % de ruptura cap. conforme a EN/IEC 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7500 A a 75 % de ruptura cap. conforme a EN / IEC 60898-1 - 230...400 V CA 50/60 Hz 10 kA a 100 % of breaking cap. conforme a EN/IEC 60947-2 - <= 250 V CC
Clase de limitación	3 conforme a EN/IEC 60947-2
Tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz conforme a EN/IEC 60947-2

19/09/2018

Life is On Schneider

1

[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV conforme a EN/IEC 60947-2
Indicación de contacto positivo	Si
Tipo de control	Palanca de conmutación
Señalizaciones frontales	Indicación encendido/apagado
Modo de montaje	Clip-on
Soporte de montaje	Perfil DIN simétrico de 35 mm
Compatibilidad de juego de bar	Si
Pasos de 9 mm	6
Alto	81 mm
Ancho	54 mm
Profundidad	73 mm
Peso del producto	0.41 kg
Color	Blanco
Endurancia mecánica	20000 cycles
Endurancia eléctrica	5000 cycles conforming to IEC 60947-2
Conexiones - terminales	Tunnel type terminals 1.5...35 mm <sup>2</sup> flexible Terminales de tipo túnel 1...50 mm <sup>2</sup> rígido
Longitud de pelado de cable	15 mm
Par de apriete	3.5 N.m
Protección de fugas a tierra	Bloque independiente

## Entorno

Normas	EN/IEC 60947-2 EN / IEC 60898-1
Certificados de producto	EAC
Grado de protección IP	IP20 conforme a IEC 60529
Grado de contaminación	3 conforme a IEC 60947-2
Categoría de sobretensión	IV
Tropicalización	2 conforme a IEC 60068-1
Humedad relativa	95 % 55 °C
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25...70 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

## Ofrecer Sostenibilidad

RoHS (código de fecha: YYWW)	Conforme - desde 0627 - Declaración de conformidad de Schneider Electric <a href="#">Declaración de conformidad de Schneider Electric</a>
Alcanzar	Referencia no contiene SVHC arriba del umbral <a href="#">Referencia no contiene SVHC arriba del umbral</a>

## Garantía contractual

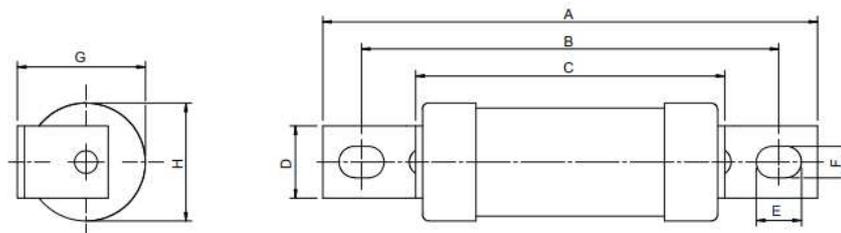
Warranty period	18 months
-----------------	-----------

**BAO, clase gG, 500 V CA, 40 a 63 A - clase gM, 500 V CA, 63 A**



Números de catálogo	Tensión nominal	Corriente nominal (amperios)	Capacidad de interrupción	Clase operativa	BS Reference	Centros de fijación (mm)	Cantidad del paquete	Portafusibles compatibles
BA040	500 V CA	40	80 kA a 500 V CA	gG	A3	73	20	Para la gama CM63F consulte la página 44
BA050	500 V CA	50	80 kA a 500 V CA	gG	A3	73	20	
BA063	500 V CA	63	80 kA a 500 V CA	gG	A3	73	20	Para la gama RS63 consulte la página 58
BA063M80	500 V CA	63M80	80 kA a 500 V CA	gM	A3	73	20	
BA063M100	500 V CA	63M100	80 kA a 500 V CA	gM	A3	73	20	

**Dimensiones (mm)**

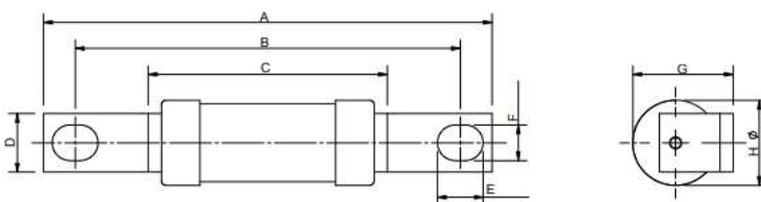


Números de catálogo	A	B	C	D	E	F	G	H
BA040-63 y BA063M80-100	87	73,5	54,5	12,7	8	5,5	22,3	21



Números de catálogo	Tensión nominal	Corriente nominal (amperios)	Capacidad de interrupción	Clase operativa	BS Reference	Centros de fijación (mm)	Cantidad del paquete	Portafusible compatible
CE032	500 V CA	32	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	Para la gama RS100 consulte la página 58
CE040	500 V CA	40	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	
CE050	500 V CA	50	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	
CE063	500 V CA	63	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	
CE080	500 V CA	80	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	
CE0100	500 V CA	100	80 kA a 500 V CA	gG	A4	94	10	
CE0100M125	415 V CA	100M125	80 kA a 415 V CA	gM	A4	94	10	
CE0100M160	415 V CA	100M160	80 kA a 415 V CA	gM	A4	94	10	
CE0100M200	415 V CA	100M200	80 kA a 415 V CA	gM	A4	94	10	

**Dimensiones (mm)**



Números de catálogo	A	B	C	D	E	F	G	H
CE032-100	109,5	94	58,5	14,3	11	8,7	24,5	21
CE0100M125-160	109	94	58	14,3	11	8,7	26,8	25,8
CE0100M200	110	94	47	19	10	9	29,5	31

Ficha de producto: 4115

Productos de calidad para la tranquilidad de su hogar



PAVCO

PREDIAL-Agua Fría, desagüe y eléctrico - PREDIAL-Agua Fría, desagüe y eléctrico



## TUBERÍA Y CONEXIONES DE PVC

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA PARA AGUA FRÍA CON ROSCA NTP 399.166 : 2008

Diámetro Exterior		Longitud			Rosca NPT	Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 Bar)	
Nominal (Pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Rosca (mm)	Util (Metros)	Hilos Número	Espesor (mm)	Peso Aprox. (Kg x tubo)
1/2"	21.0	5.00	17.2	4.98	14	2.9	1.277
3/4"	26.5	5.00	17.5	4.98	14	2.9	1.663
1"	33.0	5.00	21.8	4.98	11 1/2	3.4	2.443
1 1/4"	42.0	5.00	22.4	4.98	11 1/2	3.6	3.353
1 1/2"	48.0	5.00	22.8	4.98	11 1/2	3.7	3.975
2"	60.0	5.00	23.7	4.98	11 1/2	3.9	5.303

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA PARA AGUA FRÍA PRESIÓN NTP 399.002 : 2015

Diámetro Exterior		Longitud		Clase 5 SDR 41 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 SDR 27.7 108 Psi (7.5 bar)		Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 bar)		Clase 15 SDR 14.3 215 PSI (15 bar)	
Nominal (Pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Util (metros)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)
1/2" (I)	21.0	5.00	4.97	-	-	-	-	1.8	0.841	1.8	0.841
3/4" (I)	26.5	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.082	1.8	1.082
1"	33.0	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.365	2.3	1.717
1 1/4"	42.0	5.00	4.96	-	-	1.8	1.758	2.0	1.943	2.9	2.755
1 1/2"	48.0	5.00	4.96	-	-	1.8	2.020	2.3	2.554	3.3	3.584
2"	60.0	5.00	4.95	1.8	2.544	2.2	3.088	2.9	4.021	4.2	5.692
2 1/2"	73.0	5.00	4.94	1.8	3.111	2.6	4.444	3.5	5.905	5.1	8.407
3"	88.5	5.00	4.93	2.2	4.608	3.2	6.625	4.2	8.593	6.2	12.385
4"	114.0	5.00	4.90	2.8	7.562	4.1	10.944	5.4	14.244	8.0	20.597
6"	168.0	5.00	4.86	4.1	16.326	6.1	23.995	8.0	31.099	11.7	44.432
8"	219.0	5.00	4.82	5.3	27.519	7.9	40.521	10.4	52.713	15.3	75.730
10"	273.0	5.00	4.77	6.7	43.353	9.9	63.290	13.0	82.130	19.0	117.269
12"	323.0	5.00	4.73	7.9	60.487	11.7	75.585	15.4	98.105	22.5	164.301

(I) Sello Sedapal para 21mm y 26.5mm según especificación técnica SEDAPAL.



(\*) Certificación NFS INASSA NTP 399.166

(\*) Certificación NFS INASSA NTP 399.002

(\*) Certificación NFS INASSA NTP 399.003

## ANEXO 7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ALMACENADOR DE AGUA

Grupo Rotoplas

Catálogo de productos

### Tinaco Garantía de por vida

- Cuenta con Garantía de por vida (aplica solo para Tinaco Beige).
- Equipado con los mejores accesorios que aseguran su funcionamiento y calidad del agua.
- El Filtro Hydro-Net® retiene tierra y sedimentos, brindando agua limpia y transparente.
- Cuenta con una exclusiva Capa Antibacterial con tecnología Expel® inhibe la reproducción de bacterias manteniendo el agua más limpia.
- Su tapa click con cierre perfecto evita que entren contaminantes al agua.
- Todos los accesorios incluidos están garantizados por cinco años y cero fugas.
- El Tinaco Garantía de por vida, está fabricado en cumplimiento con la NOM NMX-C-374-ONNCE-CNCP-2012.



#### Accesorios que equipan a un Tinaco Garantía de por vida

1. Nueva Válvula de Llenado tipo Sin Fin.
2. Multiconector con Válvula Esfera y Tuerca Unión.
3. Flotador No. 5.
4. Jarro de Aire.
5. Filtro Estándar.



**5** Años de garantía Rotoplas en Accesorios

**3** Años de garantía Rotoplas en Filtros

#### Tinaco Garantía de por vida

Capacidad (L)	Díámetro (m)	Altura (m)	Abastecimiento (personas)
450	0.85	0.89	2
600	0.97	1.12	3
750	1.10	1.02	4
1 100	1.10	1.40	5
2 500	1.55	1.80	10

#### Tinaco Garantía de por vida horizontal

Capacidad (L)	Largo (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Abastecimiento (personas)
1 100	1.30	1.21	1.14	5
1 100	1.43	1.05	1.14	5

Reforzado:

# ANEXO 8: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR DEL MANÓMETRO

## Manómetros Usos generales

Elemento: Bourdon acero inoxidable 316  
 Conexión: Acero inoxidable 316  
 Caja: Acero inoxidable 304

**DE WIT**

**Modelos 911 y 915**



### APLICACIONES

Manómetro de alta calidad diseñado para usos generales en aplicaciones extremas para indicar presión de fluidos corrosivos y donde las condiciones atmosféricas sean altamente agresivas, aplicaciones plantas de tratamiento de aguas, líneas de transmisión de aire, agua, vapor que se encuentra a la interperie.

#### Dimensiones en mm.

Modelo	DN	F	a	b	c	d
911	40	1/8" NPT	42	41	23	40

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Exactitud: +/- 2% del total del rango
- Elemento: Tubo bourdon de Acero inoxidable 316
- Conexión: Acero inoxidable 316, 1/8" NPT inferior y posterior al centro.
- Mecanismo: Acero inoxidable 304
- Caja: Acero inoxidable 304
- Bisel: Acero inoxidable 304 a presión
- Ventana: Acrílico
- Carátula: Aluminio fondo blanco, números negros
- Aguja: Aluminio esmaltado negro
- Tamaños: ø 40 mm 1 1/2"
- Rangos: Doble escala, kg/cm² + psi

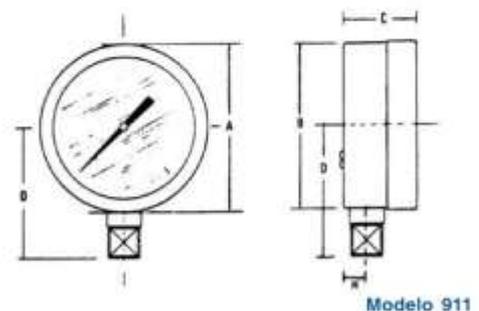
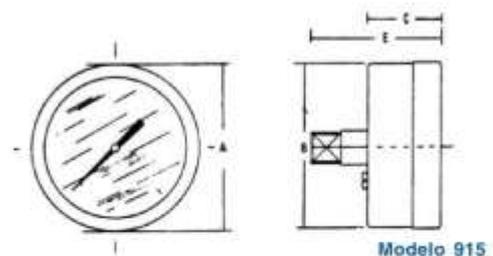
Modelo	DN	F	a	b	c	d
915	40	1/8" NPT	42	41	23	32

### COMO ORDENAR

	Cantidad	Modelo	Tamaño (mm)	Rango	Conexión
Ejem.	50 pzas.	911	40	7 kg/cm²	inf. 1/8" N.P.T.

#### RANGOS ESTÁNDAR

PRESIÓN	
Kgf/cm²	Psi
0 - 2	0 - 30
0 - 7	0 - 100



## ANEXO 9: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR DE CARGA

### Regulador TriStar MPPT™ 30A, 45A o 60A hasta 150 Voc

### Reguladores MPPT



Líder en el sector, el TriStar MPPT con tecnología TrakStar es un regulador del seguimiento del punto máximo de potencia para sistemas de energía fotovoltaica (PV) de gran tamaño no conectados a la red, de hasta 3kWp. De aclamado diseño, los TriStars han demostrado su capacidad en instalaciones solares de todo el planeta y siguen siendo la primera elección para diseñadores de sistemas de importancia crítica en los que el fallo no es una opción.

- **Maximiza la cosecha energética** – seguimiento del pico de potencia superior al de los reguladores MPPT convencionales.
- **El mayor pico de eficiencia** del sector para reguladores no conectados a la red: 99% (TS-150).
- **Construido para garantizar la máxima fiabilidad y rendimiento**, con un disipador térmico de gran tamaño y componentes que exceden todas las especificaciones. Clasificado completamente para su funcionamiento a temperaturas de hasta 45C.
- **Sus amplias características de red y comunicaciones** permiten monitorización del sistema, registro de datos y ajustabilidad.
- **Puerto RS-232 integrado incluido en todos los modelos;** Ethernet incluido en todos los modelos de 60A.
- **Sus amplias protecciones electrónicas** incluyen protección contra cortocircuitos, sobretensiones y polaridad inversa para asegurar que el regulador no resultará dañado por errores de cableado o sobrecargas.
- **Diseño sin ventiladores** para una fiabilidad de largo plazo.

Temperatura ambiente de funcionamiento	Entre -40 °C y +45 °C Entre -40 °F y +113 °F
Terminales	35 mm <sup>2</sup> / 2 AWG
Peso del producto	
TS-MPPT-30	3,6 kg / 8 lbs
TS-MPPT-45	3,6 kg / 8 lbs
TS-MPPT-60	4,1 kg / 9 lbs
TS-MPPT-60M	4,3 kg / 9,4 lbs
Peso de envío de la unidad	
TS-MPPT-30	4,5 kg / 9,9 lbs
TS-MPPT-45	4,5 kg / 9,9 lbs
TS-MPPT-60	5,0 kg / 11 lbs
TS-MPPT-60M	5,2 kg / 11,4 lbs
Dimensiones	29,1 x 13,0 x 14,2 cm 11,4 x 5,1 x 5,6 plg
Garantía	5 años

#### Certificaciones

- Conforme a las normas CE, RoHS y REACH
- IEC 62109
- Certificación ETL [UL-1741 y la canadiense CSA C22.2 N° 107.1.01]
- Cumple con las normas de CEM (compatibilidad electromagnética)
- Cumple con las normas FCC Clase B Parte 15
- EE.UU. Cumple con los requisitos del Código Eléctrico Nacional (NEC)
- Fabricado en una instalación con certificación ISO 9001

#### TriStar MPPT

	TS MPPT-30	TS MPPT-45	TS MPPT-60	TS MPPT-60M
Corriente máxima de la batería	30A	45A	60A	60A
Entrada nominal solar				
Banco de baterías de 12V	400Wp	600Wp	800Wp	800Wp
Banco de baterías de 24V	800Wp	1200Wp	1600Wp	1600Wp
Banco de baterías de 48V	1600Wp	2400Wp	3200Wp	3200Wp
Voltaje máximo de circuito abierto	150V			
Voltaje nominal del sistema	12, 24 o 48Vdc			

#### Opciones

	TS MPPT-30	TS MPPT-45	TS MPPT-60	TS MPPT-60M
TriStar Meter-2 (TS-M-2)	Si	Si	Si	Preinstalado
TriStar Remote Meter 2 (TS-RM-2)	Si	Si	Si	Si
MeterHub (HUB-1)	Si	Si	Si	Si
Puerto Ethernet	No	No	Incluido	Incluido
Adaptador EIA-485 (RS-485)	Si	Si	Incluido	Incluido
Sensor de temperatura a distancia (RTS)	Incluido	Incluido	Incluido	Incluido
Dispositivo de protección contra fallos de toma de tierra (GFPD-150V y GFPD-600V)	Si	Si	Si	Si
Convertor Ethernet MeterBus (EMC-1)	Si	Si	Si	Si