



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO DE  
UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL  
RIEGO DE CULTIVO DE PLÁTANO EN EL  
ASENTAMIENTO HUMANO EL YUCAL II DISTRITO DE  
MARCAVÉLICA-SULLANA-PIURA”**

**Autor:**

**Bach. NILSON FRANCO ROJAS AVELLANEDA**

**Asesor:**

**Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Agosto 2018**



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



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS DE INGENIERÍA**

**Para Optar el Título Profesional de**

### **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO DE UN  
SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL RIEGO DE  
CULTIVO DE PLÁTANO EN EL ASENTAMIENTO HUMANO EL  
YUCAL II DISTRITO DE MARCAVÉLICA-SULLANA-PIURA”**

**Autor:**

**Bach. NILSON FRANCO ROJAS AVELLANEDA**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE: Msc. ING. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES**

**SECRETARIO: Dr. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE**

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

**ASESOR: Dr. ING. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Agosto 2018**



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



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS DE INGENIERÍA**

### **TITULO**

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL RIEGO DE CULTIVO DE PLÁTANO EN EL ASENTAMIENTO HUMANO EL YUCAL II DISTRITO DE MARCAVÉLICA-SULLANA-PIURA”**

### **CONTENIDOS**

**CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

**CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN**

**CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

**Autor: Bach. NILSON FRANCO ROJAS AVELLANEDA**

-----  
PRESIDENTE

-----  
SECRETARIO

-----  
MIEMBRO

-----  
ASESOR

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Agosto - 2018**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo se lo dedico con inmenso cariño y amor a mis padres: Jorge y Hortencia por el apoyo incondicional y por ser la base de mi formación como ser humano y también a toda mi familia por ese apoyo moral que día a día eh necesitado.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por bendecirme y regalarme la dicha de tener la familia que tengo.*

*A mi familia, por darme su apoyo y respaldarme en cada uno de los pasos que doy y ser incondicionales siempre.*

*A mi asesor de tesis, Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL, por su orientación, paciencia y sus conocimientos compartidos.*

*A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por la formación como profesional y como persona ética.*

## RESUMEN

El objetivo general de la presente tesis fue determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura, debido a que no existe tendido de red eléctrica por lo que el agua necesaria para el cultivo de 5 hectáreas de plátano se bombea utilizando una motobomba de 33 HP, pero las consecuencias de ello son el alto costo del combustible, así como el transporte y mantenimiento.

El tipo de investigación fue aplicada y el diseño de la investigación fue no experimental, las técnicas que se utilizaron para recopilar la información fueron: la observación directa, el análisis documental y la entrevista no estructurada. Se obtuvo que el volumen de agua para 5 días que es el ciclo de riego por cada hectárea es de: 138 875 L. Se obtuvieron datos estadísticos brindados por la página de la NASA, software NASTEC y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo  $5,13 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ . El sistema eléctrico de bombeo fotovoltaico compuesta por 14 paneles fotovoltaicos de SIMAX de 190 Wp, 01 bomba superficial LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1 El presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico es de S/. 63 350,70. En el análisis Viabilidad del proyecto en la cual se obtuvo un VAN de S/. 4 488,94 a una tasa del 15 % para un horizonte de 20 años con una TIR de 16 %, lo que hace viable económicamente nuestro proyecto. El tiempo de retorno de la inversión es de 5 años y 6 meses.

**Palabras clave:** Bombeo fotovoltaico, radiación solar, panel fotovoltaico

## ABSTRACT

The general objective of this thesis was to determine the technical and economic viability of a photovoltaic pumping system for the irrigation of plantain cultivation in the Yucal II human settlement in the district of Marcavelica belonging to the province of Sullana in Piura, due to that there is no power grid so the water needed for the cultivation of 5 hectares of banana is pumped using a 33 HP motor pump, but the consequences are the high cost of fuel, as well as transportation and maintenance.

The type of research was applied and the design of the research was non-experimental, the techniques used to collect the information were: direct observation, documentary analysis and unstructured interview. It was obtained that the volume of water for 5 days, which is the irrigation cycle per hectare, is: 138 875 L. Statistical data provided by the NASA page, NASTEC software and the SENAMHI atlas were obtained, where the lowest solar radiation level was 5.13 kWh / m<sup>2</sup> / day. The photovoltaic electric pumping system consists of 14 photovoltaic panels of SIMAX of 190 Wp, 01 superficial pump LORENTZ PS2-4000 CS-F42-10-1 The reference budget of the photovoltaic pumping system is S /. 63 350,70. In the Viability analysis of the project in which a NPV of S /. 4 488,94 at a rate of 15% for a horizon of 20 years with a TIR of 16 %, which makes our project economically viable. The return time of the investment is 5 years and 6 months.

**Keywords:** Photovoltaic pumping, solar radiation, photovoltaic panel

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN .....	VI
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Realidad Problemática .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	2
1.3. Delimitación de la Investigación .....	2
1.3.1. Delimitación espacial .....	2
1.3.2. Delimitación temporal.....	6
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS .....	6
1.5. Limitaciones de la TESIS .....	7
1.6. Objetivos de la TESIS .....	7
1.6.1. Objetivo General .....	7
1.6.2. Objetivo Específicos .....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes de Estudios.....	8
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	12
2.2.1. Radiación solar .....	12
2.2.2. Principio fotoeléctrico .....	14
2.2.3. Energía solar aplicaciones .....	19
2.2.4. Instalaciones de bombeo solar .....	22
2.2.5. Evaluación económica de proyectos de inversión .....	45
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada. ....	49
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	56
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	56
3.2. Población y muestra.....	56



3.3. Hipótesis.....	57
3.4. Variables - Operacionalización.....	57
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	59
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	60
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos.....	61
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	62
4.1. Descripción del sistema propuesto.....	62
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	63
<b>5.1. Evaluación de la energía solar disponible.....</b>	<b>63</b>
<b>5.2. Requerimientos del sistema de bombeo.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.1. Calculo de la energía hidráulica necesaria .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.2. Carga dinámica total .....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.3. Calculo de la potencia de la bomba sumergible.....</b>	<b>70</b>
<b>5.2.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....</b>	<b>73</b>
<b>5.2.5. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico para bombeo de agua .....</b>	<b>83</b>
<b>5.3. Análisis técnico económico .....</b>	<b>84</b>
5.3.1. Sistema bombeo de agua con energía convencional.....	85
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES .....	91
6.1. Conclusiones.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
<b>ANEXOS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN PIURA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUPERFICIAL PS2-1800 C-SJ3-18 LORENTZ .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°04. CATALOGO DE CABLES THW-90 .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°05. CATALOGO DE FUSIBLES .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO N°06. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Principales características de las bombas fotovoltaicos .....	41
Tabla N° 2: Operacionalización de variables .....	58
Tabla N° 3: Radiación solar en el asentamiento humano el Yucal II-Sullana-Piura.....	64
Tabla N° 4: Radiación solar promedio en Sullana .....	65
Tabla N° 5: Porcentajes de caída de tensión .....	77
Tabla N° 6: Conductores eléctricos THW-90 .....	78
Tabla N° 7: sección mínima de los conductores de protección .....	80
Tabla N° 8: Fusibles gR .....	81
Tabla N° 9: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	84
Tabla N° 10: Costo de inversión de la propuesta.....	84
Tabla N° 11: Depreciación de equipos .....	88
Tabla N° 12:Flujos de caja proyectados para un horizonte de 20 años (Elaboración propia) .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de Marcavelica donde se encuentra el asentamiento humano el Yucal II en el Departamento de Piura .....	4
Figura N° 2: En Mallaritos, paradero el asentamiento humano el Yucal II.....	5
Figura N° 3: Célula Fotoeléctrica.....	14
Figura N° 4: Efecto fotovoltaico.....	15
Figura N° 5: Periheliometro .....	17
Figura N° 6: Piranómetro .....	18
Figura N° 7: Cúpula de vidrio .....	18
Figura N° 8: Irradiancia y horas solar pico .....	19
Figura N° 9: Sistema fotovoltaico conectado a red.....	20
Figura N° 10: Sistema fotovoltaico aislado.....	22
Figura N° 11: Esquema del Sistema de bombeo de agua solar.....	24
Figura N° 12: Bombeo fotovoltaico.....	25
Figura N° 13: Panel solar.....	27
Figura N° 14: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V.....	28
Figura N° 15: Variación de la curva I-V , con la irradiación solar incidente.....	29
Figura N° 16: Bombas centrifugas de succión superficial .....	35
Figura N° 17: Bomba centrifuga superficial.....	35
Figura N° 18: Bomba centrifuga sumergible .....	36
Figura N° 19: Bomba volumétrica de cilindro.....	37
Figura N° 20: Bomba de diafragma sumergible .....	39
Figura N° 21: Deposito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua.....	44
Figura N° 22: Entrevistando al dueño y trabajadores de la zona de cultivo de plátano en el Yucal II .....	60
Figura N° 23: Sistema de siembra cuadrado.....	66
Figura N° 24: Distancia entre plantas de plátano.....	66
Figura N° 25: Zona de cultivo de plátano.....	67
Figura N° 26: Junto al dueño de la zona de cultivo de plátano Duberli Marchena Paz en el Yucal II .....	68
Figura N° 27: bomba LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1.....	72
Figura N° 28: Curva característica de la bomba seleccionada .....	73
Figura N° 29: Características técnicas del controlador PS 4000.....	74
Figura N° 30: Angulo de inclinacion del PS .....	83
Figura N° 31: Motor de 33 Hp que acciona la bomba .....	85
Figura N° 31: Motobomba de 33 Hp .....	87

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis se desarrolló en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura, debido a la no existencia de tendido de eléctrico, el agua que se necesita para el cultivo de 5 hectáreas de plátano se bombea utilizando una motobomba de 33 HP. Con la finalidad de utilizar el abundante recurso solar de la zona se plantea la utilización de la tecnología no convencional de origen fotovoltaica para así lograr reducir las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente y reducir los gastos en consumo de combustible, transporte y mantenimiento.

El desarrollo de la presente tesis consta de cinco capítulos los cuales se describen a continuación en forma breve.

En el Capítulo 1, Se escribe la realidad problemática en el asentamiento humano el Yucal II, con respecto de la siembra de plátano.

El Capítulo 2, se presente el Marco teórica el cual contiene la base teórica de sistemas de bombeo utilizando tecnología fotovoltaica, así como sus principales ventajas. Estudios realizados a nivel internacional, nacional y local que garantizan que la propuesta tiene sustento científico.

El Capítulo 3, se desarrolla el Marco metodológico en se da una respuesta a la pregunta al cómo se va a obtener los datos, se procesa la información hasta obtenerlos resultados. En el Capítulo 4, Desarrollamos la propuesta.

En el Capítulo 5, Se desarrollan los cálculos del sistema de bombeo fotovoltaico, se hace una evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico frente al sistema de bombeo convencional.

En el capítulo 6, se redactan las conclusiones.

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

### **1.1. Realidad Problemática**

En el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura, no existe tendido de red eléctrica, por lo que el agua que se necesita para el cultivo de 5 hectáreas de plátano se bombea utilizando una motobomba de 33 HP, pero las consecuencias de ello son el alto costo del combustible, así como el transporte y mantenimiento.

### **1.2. Formulación del Problema**

¿Sera viable técnica y económicamente un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura?

### **1.3. Delimitación de la Investigación**

#### **1.3.1. Delimitación espacial**

Departamento: Piura

Provincia: Sullana

Distrito: Marcavelica

Localidad: El Yucal II

El **distrito peruano de Marcavelica** es uno de los ocho distritos de la Provincia de Sullana, ubicada en el Departamento de Piura, bajo la

administración del Gobierno Regional de Piura, en la costa norte del Perú<sup>1</sup>.

### **Geografía del Distrito de Marcavelica<sup>2</sup>**

El distrito de Marcavelica se ubica en los 04°52'39 *de latitud sur y en los 80°41'51* de longitud oeste. Tiene una altura aproximada de 50 metros sobre el nivel del mar. El distrito es un tercio del territorio provincial y se ubica en la margen derecha del río Chira, unido con la capital provincial a través de dos puentes vehiculares (ver Figura N° 1).

Tiene un rol estratégico en el desarrollo provincial, como consecuencia de la convergencia de distintos componentes: Naturales, económicos y humanos. Este lugar fue el punto de encuentro con los españoles, en su territorio se asentaron los tallanes y aquí se fundó la primera ciudad española de América del Sur.

### **Límites y extensión**

Por el norte con la quebrada de Fernández en el distrito de Casitas, que sirve de límite a los departamentos de Piura y Tumbes desde un punto 1 200 metros al norte del caserío El Cerezal hasta frente al lugar llamado La Perchona. Por el sur, con la margen derecha del río Chira, entre los linderos de Tamarindo y Salitral. Por el este con los distritos de Lancones, Querecotillo y Salitral y por el oeste con el distrito de Ignacio Escudero y el de Tamarindo (Paíta) y continuando por la quebrada de Gualtacal y los cerros Orejones, Grande y Cabuyo, hasta

---

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito\\_de\\_Marcavelica](https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Marcavelica)

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito\\_de\\_Marcavelica](https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Marcavelica)

la quebrada de Fernández, con un punto ubicado a 1 200 metros al oeste del pueblo de Cerezal en donde comenzó la delimitación. Tiene un área de 1 687 km<sup>2</sup>, representando el 31 % de superficie territorial provincial.



Figura N° 1: Ubicación de Marcavelica donde se encuentra el asentamiento humano el Yucal II en el Departamento de Piura

Fuente:

[http://www.perutouristguide.com/translator/19pi/translator\\_19pisullana.html](http://www.perutouristguide.com/translator/19pi/translator_19pisullana.html)

## Clima

Tiene un clima sub-árido tropical cálido y atmósfera húmeda con temperatura máxima de 37°C y una mínima de 19°C, en las partes

bajas. En la parte del Angolo el clima varía, teniendo que a más de 500 m.s.n.m. el clima es árido en la mayor parte del año.

Para llegar al asentamiento humano el Yucal II se toma movilidad desde Mallaritos (ver Figura N° 2)



Figura N° 2: En Mallaritos, paradero el asentamiento humano el Yucal II

Fuente: elaboración propia



### **1.3.2. Delimitación temporal**

Este trabajo de Tesis tuvo una duración de 05 meses.

## **1.4. Justificación e Importancia de la TESIS**

### **Justificación ambiental**

El beneficio ambiental principal es la no contaminación, ya que está libre de emisiones de CO<sub>2</sub> u otros gases. Asimismo, no se precisa de un suministro exterior, no consume combustible, ni necesita presencia de otro recurso como el agua y el viento, además de no producir ruidos.

### **Justificación tecnológica**

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

### **Justificación económica**

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

### **Justificación Científica**

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

## **1.5. Limitaciones de la TESIS**

Los datos de radiación solar se limitaron a tres fuentes, las cuales son: el atlas solar del Perú, pagina web de la NASA y el software Solarius Plus.

## **1.6. Objetivos de la TESIS**

### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura

### **1.6.2. Objetivo Específicos**

- a) Evaluar el requerimiento de agua para el riego en las parcelas de plátano.
- b) Determinar la radiación solar en la zona de cultivo de plátano.
- c) Dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico de agua
- d) Determinar el presupuesto del sistema de bombeo fotovoltaico.
- e) Determinar la viabilidad técnico económica del sistema de bombeo fotovoltaico.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de Estudios**

#### **Contexto Internacional**

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

**Cabrera Peña & Fermin Montiel (2003, pág. 12)** en su tesis titulado “Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua”, en esta tesis explica que se realizó un análisis para la producción de la

energía eléctrica a partir de los rayos del sol, que está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Se da a conocer que una de las aplicaciones de gran importancia de la energía solar fotovoltaica es el bombeo solar de agua, ya que estos están diseñados para el suministro de agua y riego en áreas retiradas donde no se dispone de un suministro de energía convencional, o esta no es fiable.

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

Además, se realizó un análisis energético de un sistema de bombeo solar de agua con una potencia pico de 75 W, acoplado a una bomba monofásica, lo que permitió establecer las condiciones bajo las cuales el sistema se desempeña mejor (Carga Dinámica Total y litros producidos por día). Se llevaron a cabo mediciones de las variables involucradas en el sistema de bombeo fotovoltaico, tales como: voltaje y corriente consumida por la bomba, irradiancia incidente y el flujo de agua producido por día. (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

### **Contexto nacional**

**Sánchez Barboza (2016, pág. 9) en su tesis titulado “Diseño de un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica para mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del estable Gesa - Lambayeque, 2016”** nos expresa que con la finalidad de Diseñar un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica que permita mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del estable GESA - Lambayeque; el proceso metodológico presenta un tipo de investigación aplicado – tecnológico con diseño pre - experimental, se trabajó con una población y muestra representativa constituida la capacidad de agua necesaria para el estable de GESA en Lambayeque. Se utilizó la técnica de la observación y los instrumentos permitieron medir los valores adecuados para el diseño; el análisis y procesamiento estadístico se realizó a través de la estadística descriptiva. El propósito del presente trabajo, es contribuir el mejoramiento del bombeo del estable GESA, las celdas fotovoltaicas permiten en condiciones óptimas desarrollar las actividades de una manera segura. El diseño realizado se justifica, en la medida que ayudará, a solucionar los problemas propios del estable GESA en cuanto a sus necesidades de agua, así mismo el aporte de la investigación se centra en la importancia de esta investigación que propone una alternativa de ahorro energético. La conclusión más relevante del informe se expresa en que el costo total para el diseño será de 10,050 nuevos soles que garantizará una adecuada funcionalidad para

un prolongado tiempo del sistema fotovoltaico, a pesar del corto tiempo de implementación.

**Hernández Quijaite** , en su trabajo de tesis “Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica” da a conocer qué el principal limitante de los sistemas convencionales es que el combustible suele tener continuos incrementos en su precio de venta, si a esto le suma el costo por transporte y los gastos operativos que supone la instalación, el costo resulta mayor respecto a lo obtenido con la energía solar. Aunque la inversión inicial se estima relativamente alta, los gastos operativos (operador, mantenimiento, etc.) no son significativos. Se debe tener en cuenta que el precio de los módulos solares ha disminuido en los últimos años, haciendo que los sistemas de bombeo solar resulten económicos. Además, sostiene que los sistemas de bombeo de agua con energía solar requieren de una alta inversión inicial, pero el costo de mantenimiento y operación es muy bajo, en contraste con los sistemas que utilizan combustible, donde su inversión inicial es baja y un alto costo de operación y mantenimiento. Por otro lado, la larga vida útil y alta confiabilidad. La vida útil de un panel fotovoltaico se estima alrededor de 20 años y durante ese periodo el porcentaje de fallas es extremadamente bajo, lo que hace un sistema de alta confiabilidad (Hernandez Quijaite).

### **Contexto Local**

**Jorge Máximo Moran Santamaría**; en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica

de manera geográfica por tener limitaciones al acceso de redes eléctricas por su distancia, altos costos de transporte y recursos energéticos limitados, lo que hace tener un costo elevado en la generación de energía; el cual lo llevo a la evaluación de otros recursos de energía renovable y su rentabilidad.

En este estudio el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo (en uso productivo se hizo el diseño de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua) frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con sistemas fotovoltaicos es de S/. 393,154.87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052.88 la cual es muy superior<sup>3</sup>

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

### **2.2.1. Radiación solar**

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

---

<sup>3</sup> Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.» Lambayeque, 2013.

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

La radiación solar (flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida *fuera de la atmósfera* sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como *constante solar* y es igual a  $1\,366 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un 3 % a causa de la electricidad de la órbita terrestre.

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

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



### 2.2.2. Principio fotoeléctrico<sup>4</sup>

La base sobre la cual se fundamenta los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica (ver figura N° 3). Este efecto tiene lugar en las llamadas células fotoeléctricas, unidad básica que componen los módulos o paneles fotovoltaicos.



Figura N° 3: Célula Fotoeléctrica

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

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

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

---

<sup>4</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

donde (h) es la constante de Planck  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  y (c) es la velocidad de la luz.

Cuando un módulo fotovoltaico recibe radiación solar, los fotones que componen dicha radiación inciden sobre las células fotovoltaicas del panel tal como se muestra en la Figura N° 4. Éstos pueden ser reflejados, absorbidos o pasar a través del panel, y sólo los fotones que quedan absorbidos por la célula fotovoltaica son los que, finalmente, van a generar electricidad.

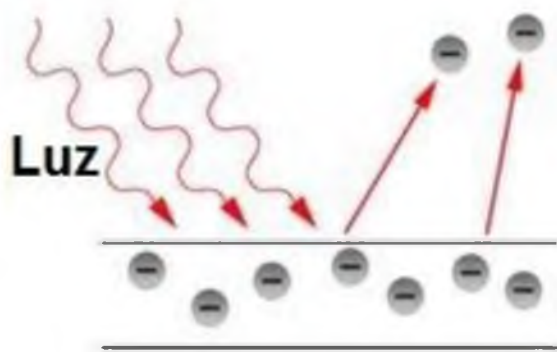


Figura N° 4: Efecto fotovoltaico

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

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

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

#### **2.2.2.1. Instrumentos de medición de la radiación solar**

##### **a) Radiación solar directa**

El instrumento de medición se llama piroheliómetro. Éste mide la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones. El instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol. (ver figura N° 5)

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



Figura N° 5: Periheliometro

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

#### **b) Radiación solar global (directa+difusa)**

El instrumento de medición se llama piranómetro, y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y la difusa. Unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores (ver Figura N°6). Las placas negras se calientan más que las blancas,

debido a que absorben más radiación. Mediante termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, la cual es función de la radiación solar global. Para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio. Para medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar

directa sobre el sensor (ver Figura N°7). (Lara Yevenes, 2007).



Figura N° 6: Piranómetro

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).



Figura N° 7: Cúpula de vidrio

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).

#### **2.2.2.2. Insolación**

Éste es otro concepto importante, el cual corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Wattshora por metro cuadrado ( $Wh/m^2$ ). Generalmente, se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos

de horas solares pico (HSP). Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1,000 W/m<sup>2</sup> (véase figura 8). La energía que produce un arreglo FV es directamente proporcional a la insolación que recibe.

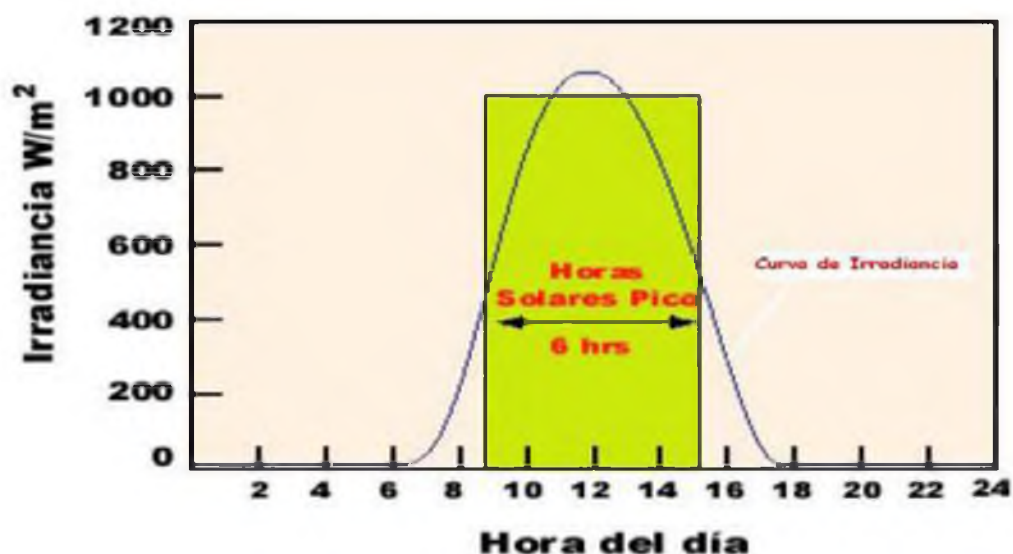


Figura N° 8: Irradiancia y horas solar pico

Fuente: (Lara Yevenes, 2007).

## 2.2.3. Energía solar aplicaciones

### 2.2.3.1. Clasificación de instalaciones

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

### a) Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

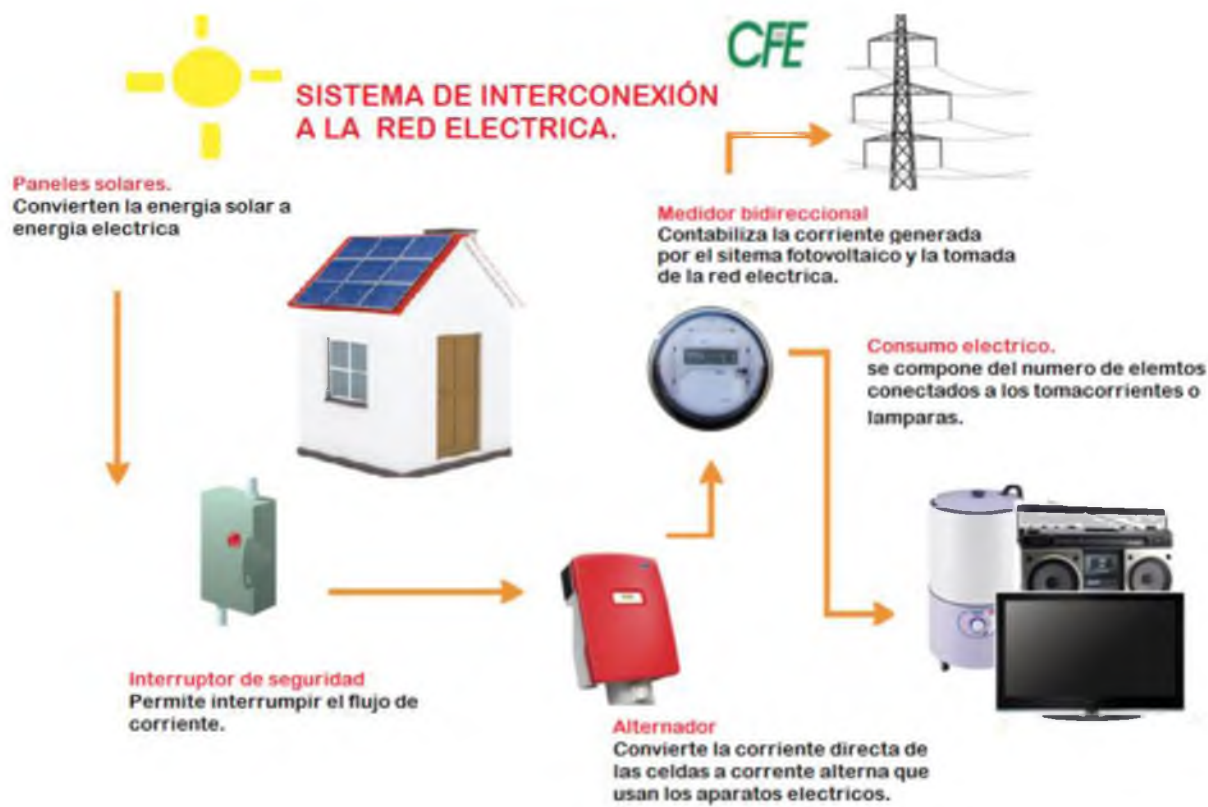


Figura N° 9: Sistema fotovoltaico conectado a red

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

La energía eléctrica producida por los módulos en forma de corriente continua (D.C.) es convertida en corriente alterna (A.C.) e inyectada a la red a través de un elemento electrónico de potencia llamado inversor que se sincroniza con la red pública a la que se conecta. No hay acumulación. El objetivo es conseguir inyectar la máxima producción de energía diaria. Las condiciones tanto técnicas como económicas de este tipo de instalaciones han venido siendo reguladas por un desarrollo legislativo muy cambiante desde hace varios años. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)

## **b) Sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica**

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

El inversor, igual que en el caso de las instalaciones conectadas a la red, convierte la corriente continua en alterna para alimentar a las cargas que lo precisan (ver figura N°10). En este caso el inversor es similar al de conexión a red con algunas características particulares que lo hacen, en general, más complejo y caro. El dimensionado de este tipo de instalaciones se basa en producir y acumular la cantidad de energía eléctrica, de la que se precisa disponer, con el tiempo de autonomía que se requiera para la instalación. Para instalaciones aisladas es típico contar con 3 a 5 días de autonomía. Este hecho obliga a un dimensionado suficiente de las baterías que se convierten en el elemento más caro de la instalación. (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 8)



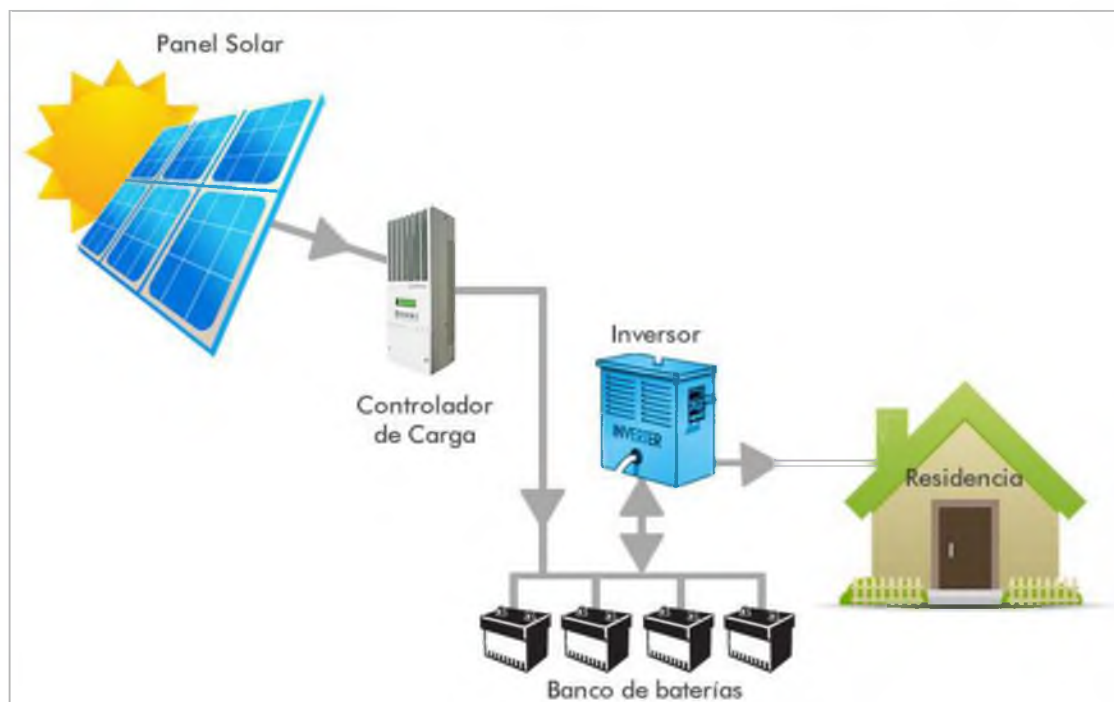


Figura N° 10: Sistema fotovoltaico aislado

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

#### 2.2.4. Instalaciones de bombeo solar

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

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

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas convencionales la batería viene siendo el elemento más delicado en cuanto a mantenimiento y duración. Su tecnología ha mejorado mucho en los últimos años, sin duda continúa haciéndolo en la actualidad. Aunque se esperan buenas perspectivas para un futuro no muy lejano, su duración, a día de hoy, no supera los siete u ocho años sin tener que reemplazarlas. En los sistemas de abastecimiento de agua, como el esquematizado en la Figura N° 11, se cuenta con la ventaja inherente, a este tipo de instalaciones, de disponer un depósito acumulador necesario para dar servicio a las necesidades de agua de la población. Este es el dispositivo que nos permite plantear la aplicación sin baterías de acumuladores (Escosa Gonzales & German Bes, 2015, pág. 9)

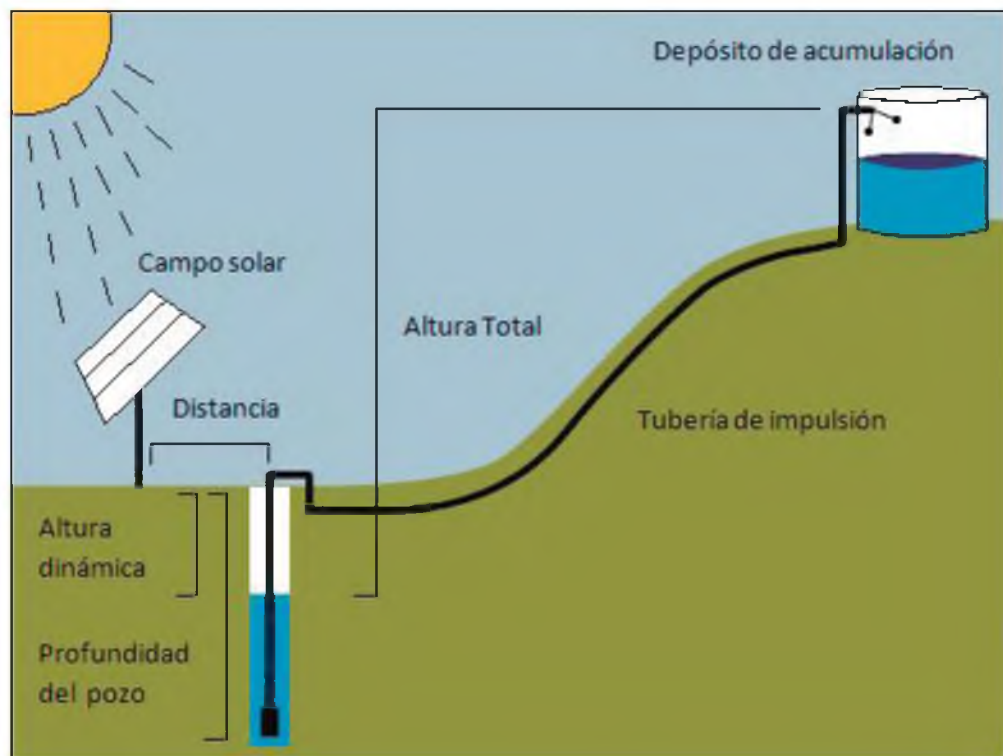


Figura N° 11: Esquema del Sistema de bombeo de agua solar

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

#### 2.2.4.1. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico

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

instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío (Figura N° 12). A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 6)

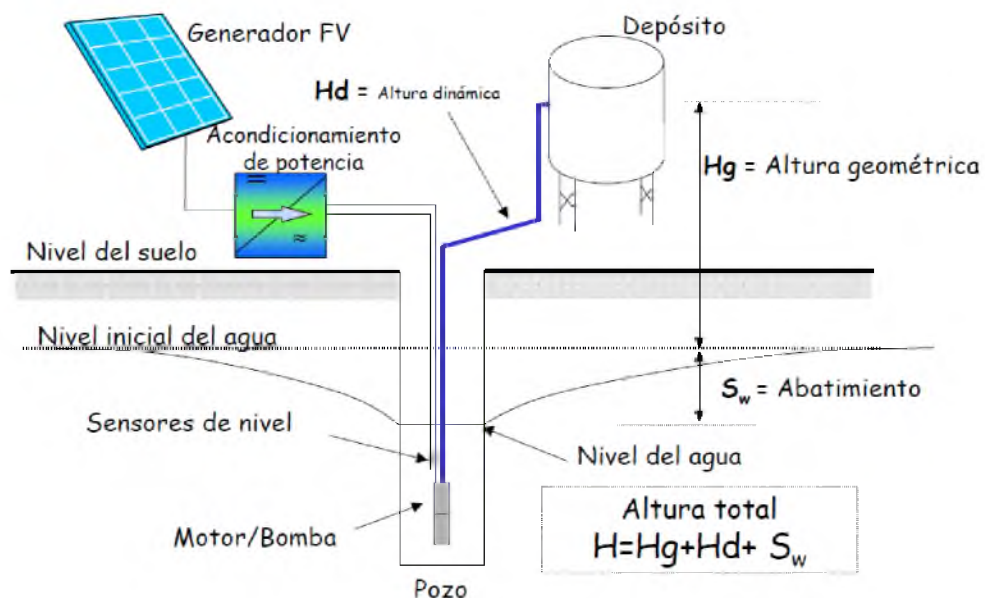


Figura N° 12: Bombeo fotovoltaico

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

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

### Las condiciones hidráulicas

- La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
- La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo, hasta un depósito de almacenamiento).

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

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

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

Los componentes esenciales en toda instalación son:

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

#### **2.2.4.2. Subsistema de captación**

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

El subsistema de captación está constituido por los paneles solares Figura N° 13, los cuales transforman la radiación solar en electricidad, para ello han de instalarse sobre unas estructuras adecuadas con la debida orientación e inclinación para maximizar la producción. Un panel solar está constituido por varias celdas iguales, conectadas electrónicamente entre sí, en serie y paralelo

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

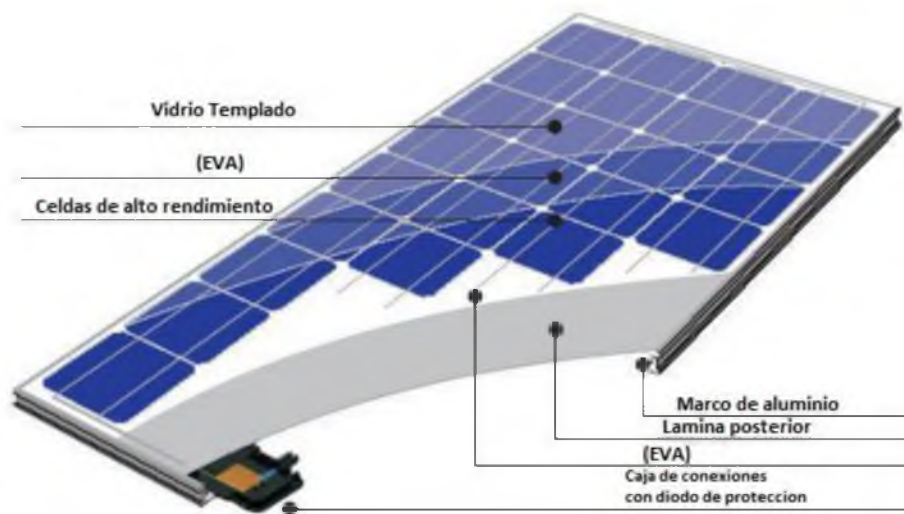


Figura N° 13: Panel solar

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

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

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

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

El coeficiente de expansión térmica de los materiales protectores, tanto el superior como el inferior, debe ser similar y compatible además con el de las celdas. Los módulos solares fotovoltaicos se construyen para una vida útil al menos de 20 años. Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas, la de laminación del encapsulante, que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas. La corriente y el voltaje entregados por un módulo varían con la temperatura ambiente y con la intensidad de la luz incidente. Las curvas típicas de corriente y voltaje de un módulo solar se muestran en la Figura N° 14 y Figura N° 15.

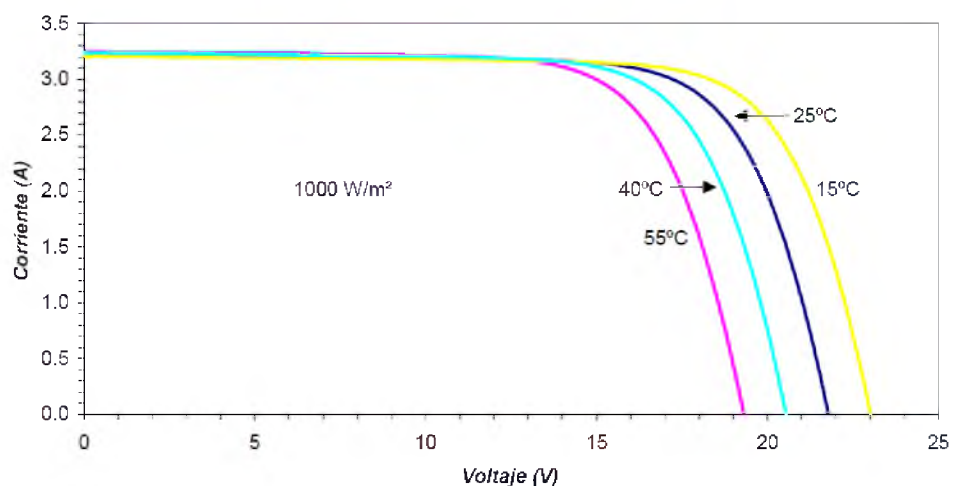


Figura N° 14: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V

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

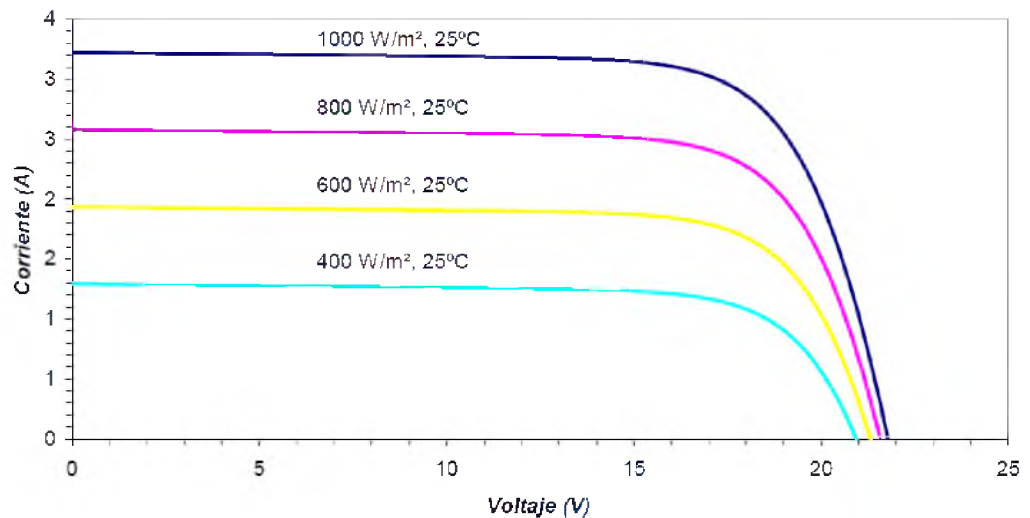


Figura N° 15: Variación de la curva I-V , con la irradiancia solar incidente

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

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



### **2.2.4.3. Subsistema Motor- Bomba**

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

Motores.

Bombas.

#### **a. Motores.**

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados. Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound. Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos.

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas que

son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

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

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

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

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

descomposición de un campo magnético alternante senoidal en dos campos magnéticos giratorios en sentidos contrarios.

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

#### **b. Bombas.**

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

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

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo. No son recomendables para

alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

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

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

#### **2.2.4.4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos.**

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia de la bomba. Por esta razón se han creado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en **centrifugas y volumétricas**<sup>5</sup>.

##### **A. Bombas centrifugas<sup>6</sup>.**

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

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

---

<sup>5</sup> (Paredes Rubio 2001)

<sup>6</sup> (Paredes Rubio 2001)

fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros. (ver figura N° 16).

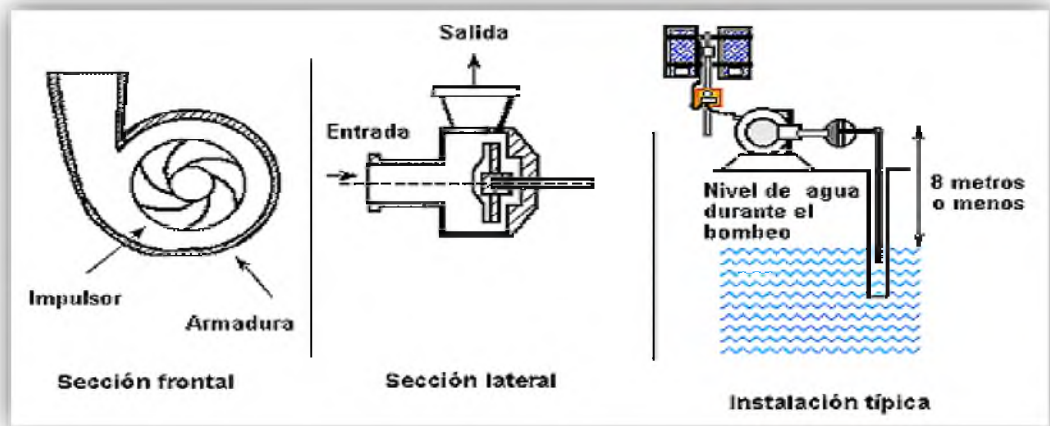


Figura N° 16: Bombas centrífugas de succión superficial

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)



Figura N° 17: Bomba centrífuga superficial

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

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

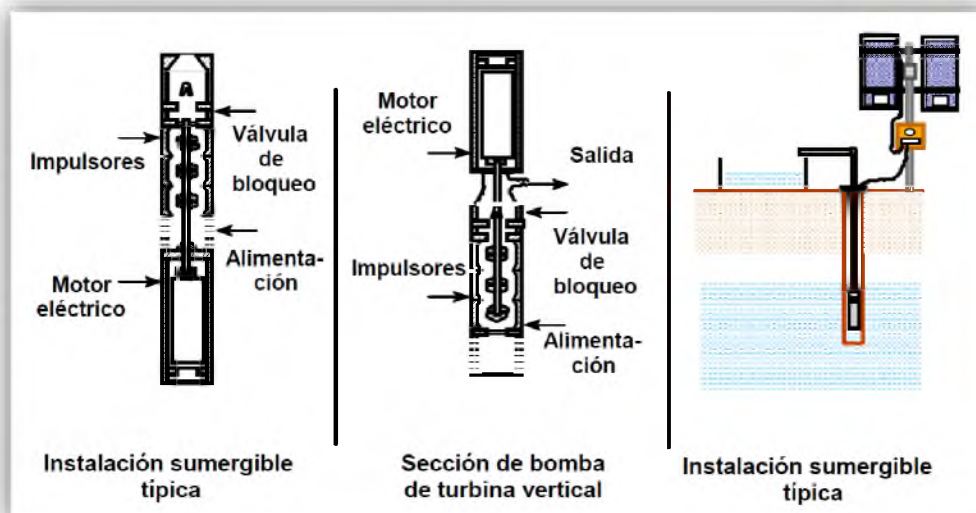


Figura N° 18: Bomba centrífuga sumergible

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

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

## B. Bombas volumétricas.

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombea es mayor, ver figura N° 19.

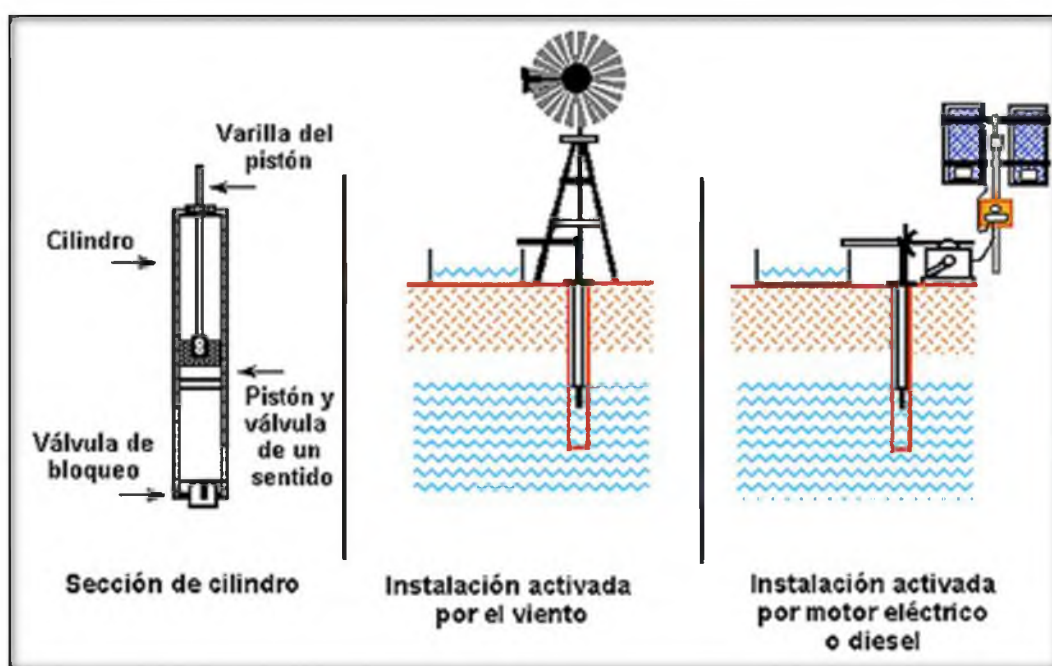


Figura N° 19: Bomba volumétrica de cilindro

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)



### **C. Bombas de cilindro:**

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

### **D. Bombas de diafragma:**

Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles. (Ver figura N° 18).

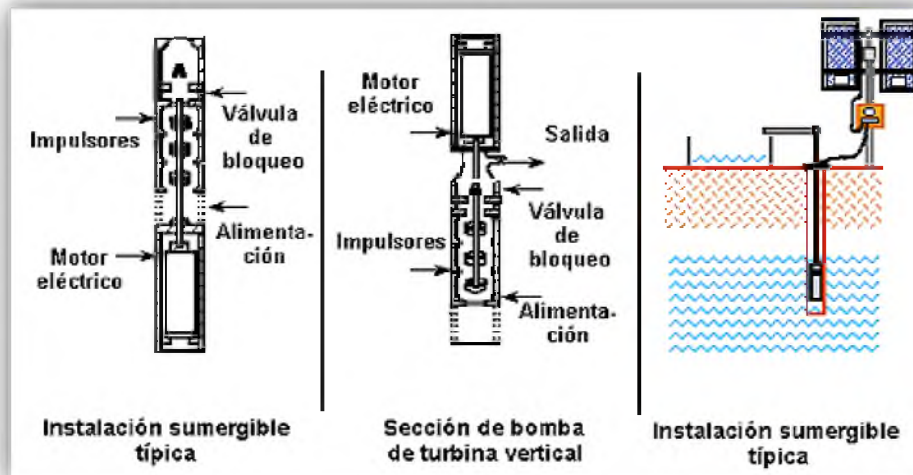


Figura N° 20: Bomba de diafragma sumergible

Fuente: (Paredes Rubio 2001).

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso. (Paredes Rubio 2001).

#### 2.2.4.5. Selección de la bomba

Las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que, en un sistema

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

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

En la tabla N° 1 siguiente indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga dinámica total del sistema de bombeo. (Paredes Rubio 2001).

Tabla N° 1: Principales características de las bombas fotovoltaicas

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

fuelle: (Paredes Rubio 2001).

#### **2.2.4.6. Subsistema de acumulación**

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

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

Una forma alternativa de almacenar energía es mediante el uso de depósitos de almacenamiento de agua (ver Figura N° 19), los cuales, dependiendo de su capacidad, pueden proporcionar el déficit de agua en aquellos momentos en que el caudal bombeado no alcance el consumo demandado.

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

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

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

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

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

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

## BOMBEO DE POZOS CON ENERGIA SOLAR

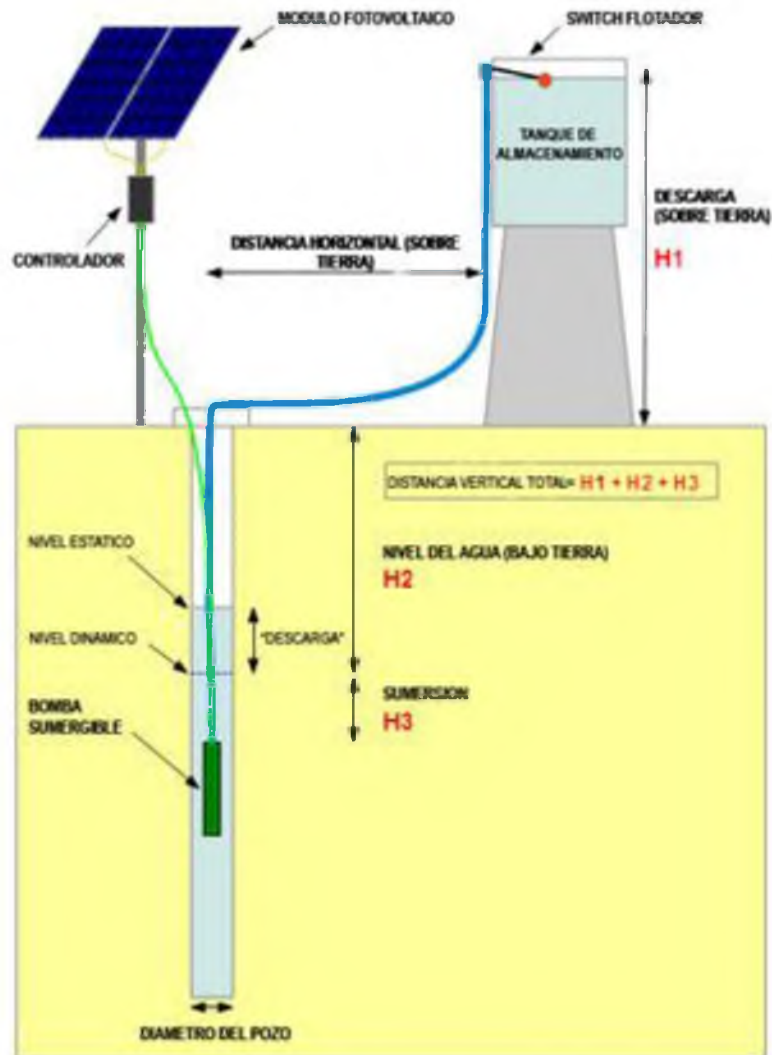


Figura N° 21: Deposito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua

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

### 2.2.4.7. Controladores

Los controles electrónicos pueden mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar, bien diseñado, del 10 al 15%. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen del 4 al 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas

FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico).<sup>7</sup>

### **2.2.5. Evaluación económica de proyectos de inversión**

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

#### **2.2.5.1. Indicadores**

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que podemos hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> (Díaz Corcobado 2008)

<sup>8</sup> Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura.*



### **Valor Actual Neto (VAN)<sup>9</sup>**

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

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

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia<sup>10</sup>.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (2)$$

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

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

$n$  : es el número de periodos de tiempo

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

---

<sup>9</sup> <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

<sup>10</sup> <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

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

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

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

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

### **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Sapag Chain y Sapag Chain (2008, pág. 323) nos indica lo siguiente: El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. La TIR “representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo”. Aunque ésta es una apreciación muy particular de estos autores (no incluye los conceptos de costo de oportunidad, riesgo ni evaluación de contexto

de la empresa en conjunto), sirve para aclarar la intención del criterio.

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

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \dots (3)$$

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

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

$n$ : es el número de periodos de tiempo

### **Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno**

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

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

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

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

### **Otros indicadores de decisión**

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

Uno de los criterios tradicionales de evaluación bastante difundido es el del periodo de recuperación (***PR***) de la inversión, mediante el cual se determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, resultado que se compara con el número de periodos aceptable por la empresa. Si los flujos fuesen idénticos y constantes en cada periodo, el cálculo se simplifica a la siguiente expresión:

$$PR = \frac{I_0}{BN} \dots (4)$$

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

### **2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Constante solar:** Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de  $1 \text{ m}^2$  por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente  $1.36 \text{ KW/m}^2$ .

**Contador eléctrico:** Instrumento que mide la energía consumida. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Mide los consumos en kWh 14. Capacidad instalada: Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.

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

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

electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

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

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

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

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

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

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

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

**Gigawatt:** Mil millones de watts (1 GW = 1 000 000 000 W)

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

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

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

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

**Kilowatt:** Mil watts (1 KW = 1 000 W) 31. Masa de aire: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

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

**Potencia eléctrica:** Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el megawatt (MW) 36. Punto de máxima potencia: Punto de la curva I-V en donde el producto  $I * V$  (potencia) tiene su valor máximo.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Generador fotovoltaico.** Asociación en paralelos de ramas fotovoltaicas

## **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada la cual según<sup>11</sup> Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

#### **Diseño**

El tipo de diseño será no experimental que tiene por definición<sup>12</sup>: Es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

### **3.2. Población y muestra**

Parcelas para el cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yuca I y II distrito de Marcavélica en el distrito de Sullana departamento de Piura” La muestra es igual a la población

---

<sup>11</sup> <http://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

<sup>12</sup>

[https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Presentaciones/licenciatura\\_en\\_mercadotecnia/fundamentos\\_de\\_metodologia\\_investigacion/PRES38.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf)

### **3.3. Hipótesis**

Es viable técnica y económica el sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura.

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

Tal como se muestra en la Tabla N° 2, se identifican las variables y se operacionalizan

Tabla N° 2: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
viabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico	Comprende todos los antecedentes e informaciones importantes para un proyecto, con el fin de procesarlos en tal sentido que nos proporcione de manera fácil la decisión más apropiada en cuanto a la implementación del proyecto	Sistema de bombeo fotovoltaico: Selección y especificación de los equipos.	Dimensionamiento de la bomba. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
		Estudio de viabilidad:  Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir nuevos recursos <sup>13</sup> .	Valor Actual Neto (VAN).  Tasa interna de retorno (TIR).  Periodo de recuperación del capital (PRC).
Demanda de agua	Proporcionar el agua que se necesita <sup>14</sup>	Cantidad de agua demandada por el lote.	Calculo de la demanda promedio diaria de agua

Fuente. Elaboración propia

<sup>13</sup> <http://proyectos.aragua.gob.ve/descargas/ESTUDIOFACTIBILIDADECON%C3%93MICA.pdf>

<sup>14</sup> <https://es.thefreedictionary.com/suministrar>

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

#### **Técnicas**

##### **Observación directa**

Se realizarán visitas técnicas al lugar donde se va a desarrollar la investigación irá al lugar para realizar las observaciones de equipos, la infraestructura y dimensiones que se requieran para establecer la demanda de energía, dimensionamiento.

##### **Análisis de documentos**

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

##### **Entrevista**

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

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

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



Figura N° 22: Entrevistando al dueño y trabajadores de la zona de cultivo de plátano en el Yucal II

Fuente: elaboración propia

### **3.6. Descripción de los instrumentos utilizados**

#### **Guías de observación**

Se utilizarán para recopilar información sobre los equipos instalados y recopilar información sobre el cultivo del plátano.

### **Ficha de análisis de documentos**

Se utilizará para recopilar información que sea necesaria de los documentos, tesis, revistas, manuales técnicos, etcétera para concluir la investigación.

### **Entrevista libre<sup>15</sup>**

Este tipo de entrevista no se basa en preguntas con un orden establecido si no es que es más parecido a una conversación donde las preguntas surgirán de las respuestas del candidato. Esta modalidad permite que el candidato sea más espontáneo y pueda mostrar sus habilidades comunicativas.

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

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

---

<sup>15</sup> <https://oie.es/es/tipos-entrevistas-caracteristicas/>



## **CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Descripción del sistema propuesto**

Con la finalidad de reducir los costos en el bombeo de agua y reducir la contaminación del medio ambiente se propone sustituir el sistema actual de bombeo por un sistema de bombeo de agua fotovoltaico. El sistema de bombeo fotovoltaico propuesto a implementar para el riego de cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura

Para lo cual se dimensionara el sistema de bombeo fotovoltaico considerando la radiación solar de la zona, la máxima demanda y el consumo de energía.

Así mismo se determinará la rentabilidad del proyecto realizando una evaluación técnica, económica.

Se propone los siguientes equipos y/o componentes:

Paneles fotovoltaicos SIMAX; con ramas de dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo

01 controlador.

Proponemos usar una bomba superficial LORENTZ

## **CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

El lugar de estudio es el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura.

### **5.1. Evaluación de la energía solar disponible**

La radiación solar promedio lo obtenemos de las páginas y software que se muestran a continuación

#### **a) Radiación solar según la página web de la NASA**

La ubicación que se ha obtenido del asentamiento humano en términos de latitud y longitud es<sup>16</sup>:

Latitud: -4.820171166700

Longitud: -80.7138300000

---

<sup>16</sup> <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Tabla N° 3: Radiación solar en el asentamiento humano el Yucal II-Sullana-Piura

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	24.4	59.6%	5.54	94.4	2.3	29.5	0	451
February	24.8	64.0%	5.31	94.3	2.2	28.6	0	419
March	24.7	65.1%	5.66	94.3	2.1	28.4	0	458
April	25.2	58.6%	5.41	94.3	2.2	29.2	0	459
May	25.1	52.2%	5.13	94.4	2.4	28.6	0	473
June	24.4	49.2%	5.15	94.4	3.0	27.2	0	439
July	24.1	44.8%	5.15	94.5	3.1	27.0	0	445
August	24.2	43.2%	5.62	94.5	2.9	28.1	0	446
September	24.3	45.2%	6.01	94.4	2.7	29.9	0	432
October	23.9	49.1%	6.15	94.4	2.5	30.7	0	436
November	23.5	52.7%	6.16	94.4	2.4	30.2	0	411
December	24.0	56.6%	5.91	94.3	2.4	29.9	0	439

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

El mes desfavorable según la Tabla N° 3, es el mes de junio con una radiación solar de 5,13 kWh/m<sup>2</sup>/día

#### b) Radiación solar según el atlas solar del Perú

Según el atlas solar del Perú<sup>17</sup> la radiación solar (ANEXO 01) este entre de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, con un promedio de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/día

<sup>17</sup> <http://deltavolt.pe/phocadownload/Lambaveque.jpg>

### c) Radiación solar según el software SOLARIUS PLUS

Tabla N° 4: Radiación solar promedio en Sullana



Fuente: software SOLARIUS PLUS

De la Tabla N° 4, el valor más bajo de radican solar es de 5,25 kWh/m<sup>2</sup>/día

*Para el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico se considerara la radiacion solar de 5,13 kWh/m<sup>2</sup>/dia*

## 5.2. Requerimientos del sistema de bombeo

### 5.2.1. Calculo de la energía hidráulica necesaria

De la entrevista con el dueño el Señor: Duberli Marchena Paz y los trabajadores del cultivo de plátano se ha obtenido los siguientes datos:

El distanciamiento entre las plantas de plátano es de 3 m tal como se muestra en la siguiente figura N° 23 siguiente

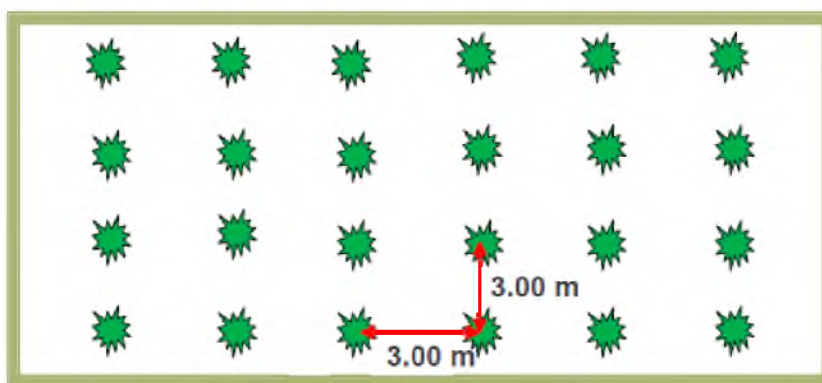


Figura N° 23: Sistema de siembra cuadrado

Fuente:

[https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual\\_banano.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual_banano.pdf)

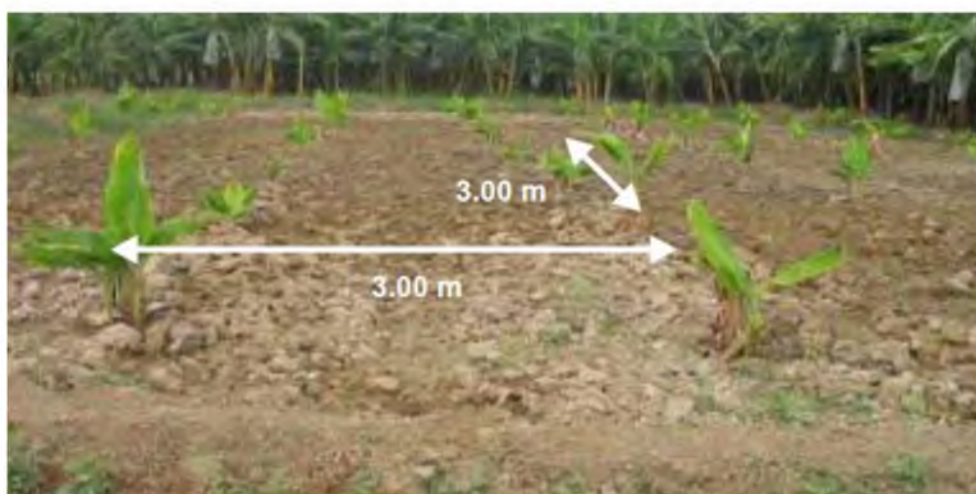


Figura N° 24: Distancia entre plantas de plátano

Fuente:

[https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual\\_banano.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual_banano.pdf)



Figura N° 25: Zona de cultivo de plátano

Fuente: elaboración propia





Figura N° 26: Junto al dueño de la zona de cultivo de plátano Duberli Marchena Paz en el Yucal II

Fuente: elaboración propia

que por cada hectárea se tiene 1 111 plantas de plátano.

en promedio la cantidad de litros de agua es de:

25 L / planta al día en días soleados.

17 L / planta al día en días seminublados.

10 L / planta al día en días nublados.

Consideraremos la situación más crítica como tenemos 5 ha, entonces con la finalidad de utilizar continuamente el sistema fotovoltaico lo que aremos es suministrar en un riego para cada hectárea la cantidad de agua que necesita durante 5 días

$$Volumen\ de\ agua\ por\ hectarea = (1\ 111 \times 25 \times 5) = 138\ 875\ L$$

Entonces según la Tabla N° 6, la demanda es de:

$$Volumen\ de\ agua = 138\ 875\ L/ha$$

La cantidad de agua que se necesita para 5 días y con las HSP de

5,13 kWh/m<sup>2</sup>/día

El caudal es de:

$$Q = (138\ 875) / 5,13 = 27,07\ m^3/h$$

### 5.2.2. Carga dinámica total

Para el sistema de bombeo se consideran los siguientes datos:

Nivel estático del agua: 2,5 m

Abatimiento: 0 m (por tratarse de un bombeo superficial)

Altura de la descarga: 5,0 m

Distancia horizontal del canal hasta la ubicación de la motobomba: 15 m

Requerimiento diario: 138 875 L/día



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

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

$$CE = 2,5 \text{ m} + 0 \text{ m} + 5,0 \text{ m} = 7,5 \text{ m}$$

La carga dinámica (CD) se puede obtener por omisión<sup>18</sup>

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

$$L = 0.1 \times (2,5 \text{ m} + 0,0 \text{ m} + 5,0 \text{ m} + 15 \text{ m})$$

$$= 0,1 \times 22,5 \text{ m} = 2,25 \text{ m}$$

Entonces,

$$CDT = CE + CD = 7,5 \text{ m} + 2,25 \text{ m} = 9,75 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

Consideraremos 10 m

### **5.2.3. Calculo de la potencia de la bomba sumergible**

El cálculo del consumo energético estimado nos muestra la demanda que tendrá nuestra instalación. Dentro del consumo de energía se debe tener en cuenta el autoconsumo que realizan los aparatos electrónicos como el regulador de carga en caso de usar baterías. No obstante, el autoconsumo que realizan estos equipos suele ser del valor del 1% del total de la energía consumida.

---

<sup>18</sup> Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001.

$$E_{requerida} = \frac{Volumen H}{367 n_{bomba}} \dots (5)$$

Volumen: Volumen en litros (L): 138 875 L

Altura de impulsión (H): 10,0 m

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

0,40

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

Reemplazando los datos

$$E_{requerida} = \frac{(138\,875)(10)}{367(0,4)} \approx 9,460 \text{ kWh/día}$$

#### 5.2.3.1. Dimensionamiento de la bomba superficial LORENTZ

Para poder seleccionar la bomba apropiada hay que considerar:

$Q = 27,07 \text{ m}^3/\text{h}$

$H = 10 \text{ m}$ .

$$P_{bomba} = \frac{\gamma Q_{promedio} H_{Dinamica\ total}}{n_b} \dots (6)$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos.

$$P_{bomba} = \frac{(9800)(27,07/3600)(10)}{0,4} = 1\,842,34 \text{ W}$$

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

### **Selección de la bomba**

Seleccionamos la bomba LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1 (ANEXO 02) el cual se ha seleccionado en base a los resultados de altura y caudal calculado en la sección anterior.



Figura N° 27: bomba LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1

Fuente: <https://www.solaris-store.com/1735-pompe-de-surface-lorentz-ps2-4000.html>

# PS2-4000 CS-F42-10-1

## Système de pompe solaire de surface

### Graphique de la pompe

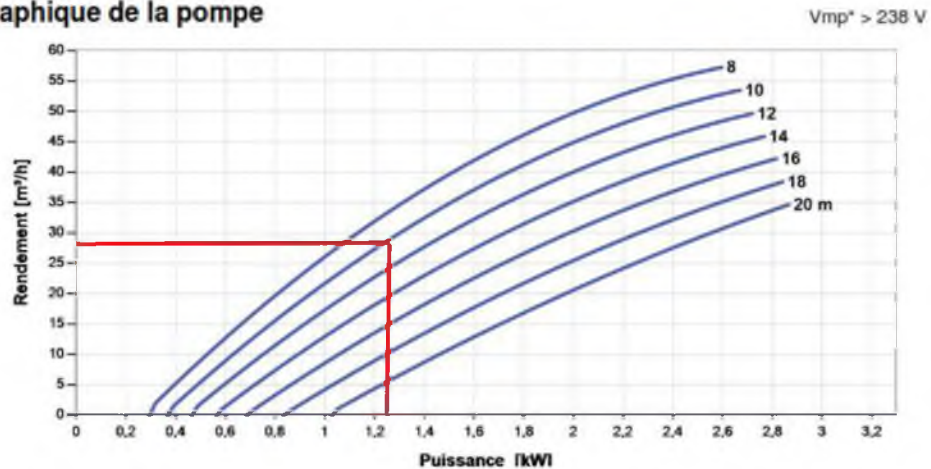


Figura N° 28: Curva característica de la bomba seleccionada

Fuente: <https://www.solaris-store.com/1735-pompe-de-surface-lorentz-ps2-4000.html>

#### 5.2.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

##### 5.2.4.1. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para determinar la energía en el generador fotovoltaico y la potencia, hay que considerar las pérdidas ocasionadas en el controlador, pérdidas de potencia por efecto joule en los conductores, no trabajar en el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, etc. Para facilitar el cálculo de la potencia del generador estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que recoge el rendimiento energético de la instalación; para el caso de sistemas con regulador, se considera<sup>19</sup>: 0,7

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

$$E_{elec} = 9,460 / 0,7 = 13,51 \text{ kWh/día}$$

<sup>19</sup> (Agustin Castejon s.f.)

$$Pot = 2,63 \text{ kW}$$

Consideramos trabajar con paneles solares SIMAX de 190 Wp (ANEXO 02) Para determinar el arreglo del generador fotovoltaico de paneles e serie o paralelo tenemos que tener en cuenta el controlador que acompaña a la bomba superficial.

### Características técnicas del controlador PS 4000

#### Données techniques

##### Contrôleur PS2-4000

- Commande et surveillance
- Entrées de commande pour protection contre le fonctionnement à sec, commande à distance, etc.
- Protection contre inversion de polarité, surcharge et surchauffe
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) intégré

Puissance	max. 4,0 kW
Tension d'entrée	max. 375 V
Optimal Vmp**	> 238 V
Intensité du moteur	max. 14 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-40...50 °C
Classe de protection	IP68

Figura N° 29: Características técnicas del controlador PS 4000

Fuente: : <https://www.solaris-store.com/1735-pompe-de-surface-lorentz-ps2-4000.html>

### El número de paneles solares que hay que colocar en serie

Para determinar el número de paneles solares en serie hay que considerar la bomba superficial LORENTZ tiene una tensión mínima  $V_{mp}$ . debe ser mayor a 238 V (Ver figura N°29).

Entonces tenemos lo siguiente:

A partir de la siguiente ecuación:

$$N_{smf} > V_{de\ trabajo} / V_{mp,modulof} \dots (8)$$

$$N_{smf} > 238 / 36,5 = 6,52 \approx 7 \text{ paneles solares}$$

Entonces el número mínimo de paneles solares conectados en serie serán 7.

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

$$N_{pmf} = 2630 / (190 \times 7) = 1,98 \approx 2 \text{ ramas en paralelo}$$

***Entonces el generador fotovoltaico estara conformado por 14 paneles solares SIMAX de 190 Wp***

### **Verificación de la potencia del controlador**

La potencia del generador fotovoltaico debe ser menor que la máxima capacidad de potencia del regulador

P<sub>max</sub> del regulador= 4 kW (De la figura N° 29)

Potencia del generador fotovoltaico= 14x190=2,660 kW

De donde 4 kW > 2,660 kW

### **Verificación por corriente eléctrica**

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

I<sub>max</sub> del regulador= 14 A (De la figura N° 29)

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

De donde  $14 \text{ A} > 11,04 \text{ A}$

#### **5.2.4.2. Numero de estructuras fijas para paneles solares**

Los 14 paneles solares irán montados sobre estructuras fijas

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

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

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

$$\text{Seccion del conductor electrico en } mm^2 = \left( \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot \Delta v} \right) \dots (9)$$

Donde:

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

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

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

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

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

En la tabla N° 5, siguiente se muestra la caída de tensión máximas y recomendadas para cada tramo de una instalación de bombeo de agua utilizando sistema fotovoltaico.

Tabla N° 5: Porcentajes de caída de tensión

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

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

Con la finalidad de obtener los conductores eléctricos más apropiados para el del sistema de bombeo fotovoltaico, nos basamos en el método de cálculo de la intensidad máxima admisible y de caída de tensión.

Iniciamos proponiendo el uso de conductores THW-90 de la siguiente tabla:



Tabla N° 6: Conductores eléctricos THW-90

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm <sup>2</sup> )								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PEÑO	AMPERAJE (°)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Fuente: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000668.pdf>

El cableado eléctrico se compone de dos tramos:

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

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

$L = 5,0 \text{ m}$ , es la longitud que recorre el cable desde la salida de la caja de conexión de los módulos solares hasta el regulador de carga.

$$I = 1,25 \times I_{CC\text{mf}} \times N_{rmp} \dots (10)$$

$$= 1,25 \times 5,52 \times 2 = 13,8 \text{ A}$$

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

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

$\Delta U = 24 \times 7 \times 0,01 = 1,75 \text{ V}$ , que es la caída de tensión máxima permitida en este tramo.

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

Estos valores sustituidos en la ecuación (13) dan como resultado una sección mínima de cable para el *tramo 1* de:

$$S_{\text{tramo1}} = 1,4 \text{ mm}^2$$

Ahora según la tabla N° 6, la sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **2,5 mm<sup>2</sup>**.

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

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

$L = 15 \text{ m}$ , es la longitud que recorre el cable de caída desde la salida del regulador hasta los bornes de entrada al motor eléctrico de la bomba superficial.

$I = 14 \text{ A}$ , que es la corriente eléctrica máxima del controlador (ANEXO 02).

$\Delta U = 5,25 \text{ V}$ , que se corresponde con la caída de tensión máxima permitida para este tramo.

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

$$S_{tramo2} = 1,43 \text{ mm}^2$$

Ahora según la tabla N° 6, la sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **2,5 mm<sup>2</sup>**.

#### 5.2.4.4. Cableado de protección:

Para brindar protección a la propia instalación, se instalara un cable adicional, además de los cables activos (positivo y negativo), que será el cable de protección y que servirá para conectar todas las masas metálicas de la instalación con el sistema de tierra, el que además permitirá descargar a tierra las corrientes de defectos o las debidas por las descargas de origen atmosférico<sup>20</sup>. A partir de la tabla N° 7 queda establecido que la sección del conductor eléctrico de protección es de 2,5 mm<sup>2</sup>

Tabla N° 7: sección mínima de los conductores de protección

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

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

<sup>20</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

#### 5.2.4.5. Elementos de protección

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

**Protección de las ramas de paneles fotovoltaico:** es necesario una protección contra corrientes inversas en cada rama, las cuales las colocaremos en la caja de conexiones del generador fotovoltaico donde se fácil acceso para mantenimiento.

**Calibre de los fusibles:**  $I_F = 1,5 \dots 2 \cdot I_{sc} = 1,5 \times 5,52 \dots 2 \times 5,52 \text{ A} =$


8,28 A...11,04 A

Elegimos cartuchos fusibles de 10 A (de la figura N° 25)

tensión asignada es de  $U_F > 1,2 U_{Goc} = 1,2 \times 44,5 \text{ V} = 53,40 \text{ V}$

modelo: PF10 10A gR

Tabla N° 8: Fusibles gR



### Fusibles serie PF10

	$I_n$ [A]	Modelo	Código	Potencia disipada [W]	$I^2t$ Total [A²s]	Peso [kg]	Embalaje [pcs]
PF 10	4	PF10 4A gR	38696	0,69	45	0,01	20
	6	PF10 6A gR	38697	0,95	48	0,01	20
	8	PF10 8A gR	38698	1,43	129	0,01	20
	10	PF10 10A gR	38699	1,62	271	0,01	20
	12	PF10 12A gR	38700	2,16	371	0,01	20
	16	PF10 16A gR	38701	3,18	501	0,01	20
	20	PF10 20A gR	38702	3,82	565	0,01	20

### Especificaciones

Modelo	PF10	
Tensión de Uso	$U_n$	900 V d.c.
Constante de tiempo (L/R)	$\tau$	3 ms
Poder de Corte (RMS)	$I_p$	30 kA

fuelle: fusiblegR.pdf

### **Interruptor general del generador fotovoltaico**

Se pondrá un interruptor para aislar los módulos fotovoltaicos del controlador, de las siguientes características<sup>21</sup>:

Corriente asignada es de  $I_n > 2I_{sc} = 2 \times 5,52 \text{ A} = 11,04 \text{ A}$

tensión nominal:  $U_F > 1,2 U_{Goc} = 1,2 \times 44,5 \text{ V} = 53,40 \text{ V}$

#### **5.2.4.6. Angulo óptimo de inclinación**

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

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

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \dots (11)$$

*donde:*

$\beta_{opt}$ : Angulo de inclinación optimo

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

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

Entonces en base a la ecuación anterior

Latitud:  $-4.820171166700^\circ$ .

---

<sup>21</sup> (Agustin Castejon)

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-4,820^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 8,0^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de  $8,0^\circ$  y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día. En esta investigación consideraremos una elevación de  $10^\circ$  por estar más cerca del óptimo y al mismo tiempo evitar la acumulación de humedad y polvo.

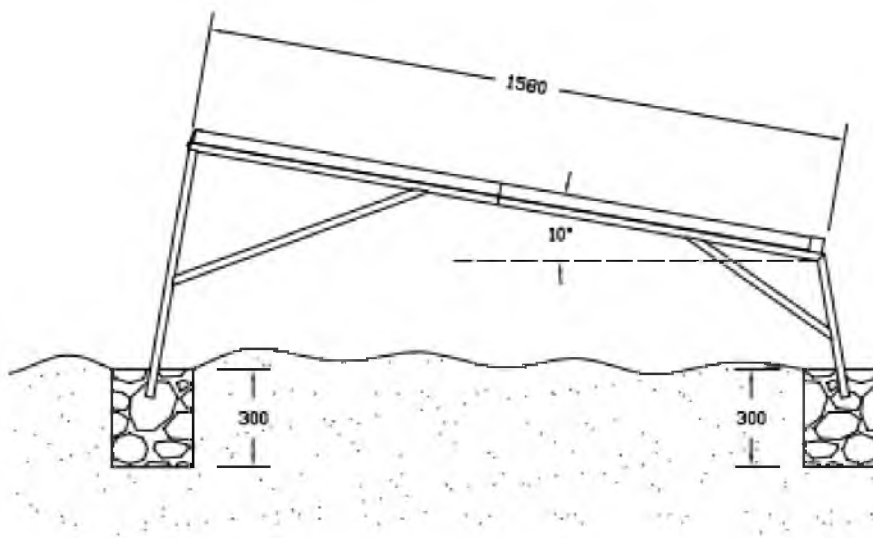


Figura N° 30: Angulo de inclinación del PS.

Fuente: elaboración propia

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

### 5.2.5.1 Costo del sistema de bombeo fotovoltaico

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

Tabla N° 9: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico

DESCRIPCIÓN	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 bomba superficial LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1 +CONTROLADOR	22 987,00	22 987,00
14 paneles solares SIMAX 190 Wp	752,00	10 528,00
02 estructura para 08 y 06 paneles solares	877,00	1 754,00
Tanque de almacenamiento	10 000	10 000
Accesorios	500,00	500,00
Total, del Suministro		45 769,00

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 10: Costo de inversión de la propuesta

DESCRIPCIÓN	TOTAL (S/.)
SUMINISTRO	45 769,00
TRANSPORTE	2 288,45
MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	4 576,90
COSTO DIRECTO	52 634,35
GASTOS GENERALES	1 052,69
SUB TOTAL SIN IGV	53 568,04
IGV	9 663,67
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>63 350,70</b>

Fuente: elaboración propia

### 5.3. Análisis técnico económico

### 5.3.1. Sistema bombeo de agua con energía convencional

De la observación realizada se tiene que en el cultivo de plátano en el asentamiento humano el Yucal II en el distrito de Marcavelica perteneciente a la provincia de Sullana en Piura se viene utilizando una motobomba de 33 Hp



Figura N° 31: Motor de 33 Hp que acciona la bomba

Fuente: elaboración propia

#### 5.3.1.1. Costo del sistema de bombeo convencional

El sistema convencional cubre la demanda de energía eléctrica para el sistema de bombeo el cual funciona:

De los datos que se han recopilado tenemos lo siguiente:

12 horas de riego por hectárea cada.

Para esas 12 h se consume 1 lata de combustible

Costo de la lata de combustible S/. 70

El riego se hace cada 10 días



**a) Calculemos el costo de combustible para 5 ha**

$$\text{Numero de riegos al año} = \frac{365}{10} = 36,5$$

$$\text{Costo del combustible anual por ha} = (70) \times (36,5) = S/. 2 555$$

$$\text{Costo de combustible en las 5 ha} = 5 \times 2 555 = S/. 12 775$$

**b) Costo del transporte del combustible**

El transporte de la lata de combustible desde Mayaritos hasta el asentamiento Humano el Yucal II es de S/. 6

$$\text{Costo del transporte anual} = \text{Numero de latas anual} \times \text{costo}$$

$$\text{Costo del transporte anual} = (36,5 \times 5) \times 6$$

$$\text{Costo del transporte anual} = S/. 1 095$$

**c) Costo del mantenimiento**

De la información obtenida el costo anual es de S/. 750

**d) Costo total anual con el sistema convencional**

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

$$\text{Cocto total anual} = 12 775 + 1 095 + 750 = S/. 14 620$$



Figura N° 32: Motobomba de 33 Hp

Fuente: elaboración propia

#### **5.3.1.2. Flujo de caja proyectado**

Para realizar el flujo de caja se considerará un horizonte de 20 años.

(debido a que lo paneles fotovoltaicos tiene una vida útil garantizada

de 20 a 25 años) El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante el horizonte.

### Estructura del flujo de caja

Los componentes del flujo de caja:

Los egresos: está dado por la inversión inicial que estará dado por el costo de inversión del sistema de bombeo fotovoltaico, depreciación de equipos y mantenimiento.

Los ingresos: está dado por lo que se dejaría de gastar en el sistema de bombeo convencional es decir los S/. 14 620 anual.

Tabla N° 11: Depreciación de equipos

Equipos	Vida Útil	Costo total. (S/.)	Depreciación(S/.)
Paneles solares	20	10 528,00	526,40
Bomba LORENTZ+controlador	10	22 987,00	2 298,7

Fuente: elaboración propia

Como la bomba LORENTZ tiene una vida útil de 10 años entonces se considerará en el año 10 la compra de otra bomba con su controlador y más los gastos de instalación

$$\text{S/. } 22\,987,00 + 500 = \text{S/. } 23\,487,00$$

Para la evaluación económica se considerará una tasa de 15 %

Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla N° 12

$$\text{VAN} = \text{S/. } 4\,488,94 > 0 \quad \text{por lo que la propuesta es rentable}$$

$TIR = 16 \% > 15 \%$

De los dos resultados anteriores la propuesta es viable.

El retorno de la inversión será en 5 años y 6 meses.

Tabla N° 12: Flujos de caja proyectados para un horizonte de 20 años (Elaboración propia)

N°	Inversion Inicial	Dpereciacion de equipos		Mantenimien to	Fondos Generados	Flujo de efectivo neto	Factor de descuento	Valor actual
		Bomba Solar	Paneles solares					
0	S/. 63 350,70					-S/. 63 350,70		-S/. 63 350,70
1		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,869565217	S/. 10 152,09
2		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,756143667	S/. 8 827,90
3		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,657516232	S/. 7 676,44
4		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,571753246	S/. 6 675,16
5		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,497176735	S/. 5 804,49
6		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,432327596	S/. 5 047,38
7		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,37593704	S/. 4 389,03
8		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,326901774	S/. 3 816,55
9		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,284262412	S/. 3 318,74
10		S/. 23 487,00	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	-S/. 9 513,40	0,247184706	-S/. 2 351,57
11		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,214943223	S/. 2 509,44
12		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,18690715	S/. 2 182,12
13		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,162527957	S/. 1 897,50
14		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,141328658	S/. 1 650,00
15		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,122894485	S/. 1 434,78
16		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,10686477	S/. 1 247,64
17		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,092925887	S/. 1 084,90
18		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,080805119	S/. 943,39
19		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,070265321	S/. 820,34
20		S/. 2 298,70	S/. 526,40	S/. 120,00	S/. 14 620,00	S/. 11 674,90	0,061100279	S/. 713,34

VNA= S/. 4 488,94

TIR= 16%

## CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones

- a) En el análisis de Viabilidad del proyecto en la cual se obtuvo un VAN de S/. 4 488,94 a una tasa del 15 % para un horizonte de 20 años con una TIR de 16 %, lo que hace viable económicamente nuestro proyecto. El tiempo de retorno de la inversión es de 5 años y 6 meses.
- b) El volumen de agua diario para cada hectárea de terreno de cultivo de plátano teniendo en cuenta que el riego es cada 5 días es de:  
  
138 875 L /día.
- c) Para determinar la radiación solar en la zona de cultivo de plátano se consultó tres fuentes de radiación solar Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA con un valor mínimo de 5,13 kWh/m<sup>2</sup>/día , software NASTEC y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo 5,13 kWh/m<sup>2</sup>/día.
- d) El sistema eléctrico de bombeo fotovoltaico compuesta por 14 paneles fotovoltaicos de SIMAX de 190 Wp, 01 bomba superficial LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1
- e) El presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico es de  
  
S/. 63 350,70

## BIBLIOGRAFÍA

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

- 13) Heras Sanchez, M. A. (2017). *Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC*. Ecuador.
- 14) Hernandez Quijaite, L. E. (s.f.). *Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica*. Ica.
- 15) Indeco. (s.f.). *Catalogo de cables NYY -DUPLEX*.
- 16) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 17) Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.
- 18) Lara Yevenes, F. A. (2007). *Diseño de un sistema de riego por medio de energia solar, traves de paneles FV*. Chile.
- 19) Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.
- 20) Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el Km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.
- 21) Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 22) Natael Elenes, F. (2012). *Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora*. Sonora.
- 23) Orbezo, C., & Aribilca, R. (2010). *Energia solar fotovoltaica*.
- 24) Paredes Rubio, A. R. (2001). *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*. Mexico.



- 25) Saucedo Martinez, D. A. (2008). *Factores que afectan la calidad de la energia electrica y su solucion*. Mexico.
- 26) SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 27) solar, G. d. (2016). *Guia de la energia solar*. 2006.
- 28) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN PIURA**

**ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUPERFICIAL PS2-1800 C-SJ3-18 LORENTZ**

**ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO**

**ANEXO N°04. CATALOGO DE CABLES THW-90**

**ANEXO N°05. CATALOGO DE FUSIBLES**

**ANEXO N°06. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO**

**ANEXO N°07. MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS**

**ANEXO N°01**  
**RADIACIÓN SOLAR EN PIURA**

# PIURA



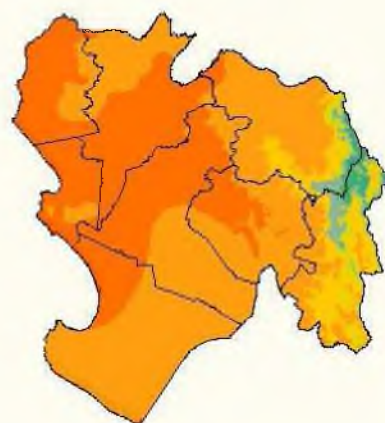
FEBRERO



MAYO



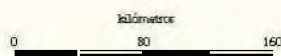
AGOSTO



NOVIEMBRE




REPÚBLICA DEL PERÚ  
 SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
 SENAMHI  
 DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y ASUNTOS AMBIENTALES  
**ENERGÍA SOLAR INCIDENTE DIARIA**  
 Departamento de Piura  
 (1975-1990)  
 LIMA - PERÚ  
 DICIEMBRE 2006



**ANEXO N°02**

**LORENTZ PS2- 4000 CS-F42-10-1**

# PS2-4000 CS-F42-10-1

## Système de pompe solaire de surface

### Gamme de systèmes

Chute	max. 20 m
Débit	max. 57 m³/h

### Données techniques

#### Contrôleur PS2-4000

- Commande et surveillance
- Entrées de commande pour protection contre le fonctionnement à sec, commande à distance, etc.
- Protection contre inversion de polarité, surcharge et surchauffe
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) intégré

Puissance	max. 4,0 kW
Tension d'entrée	max. 375 V
Optimal Vmp**	> 238 V
Intensité du moteur	max. 14 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-40...50 °C
Classe de protection	IP68

#### Moteur ECDRIVE 4000 CS-F

- Entretien minimal, moteur DC sans balais
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AL/AISI 304

Puissance nominale	4,0 kW
Efficacité	max. 92 %
Vitesse du moteur	900...3 300 rpm
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IPX4

#### Extrémité de la pompe PE CS-F42-10-1

- Matériel de haute qualité
- En option : protection contre le fonctionnement à sec
- Centrifugal pump



#### Pompe PU4000 CS-F42-10-1 (Moteur, Extrémité de la pompe)

Température de l'eau	max. 70 °C
Hauteur d'aspiration	acc. to COMPASS sizing

### Normes



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

IEC/EN 61702:1995

Les logos indiquent les autorisations obtenues pour cette gamme de produits. Les produits sont commandés et livrés selon les autorisations propres aux exigences du marché.

\*\*Vmp: Tension MPP en condition de test standard (STC) : rayonnement solaire 1 000 W/m², température des cellules 25 °C

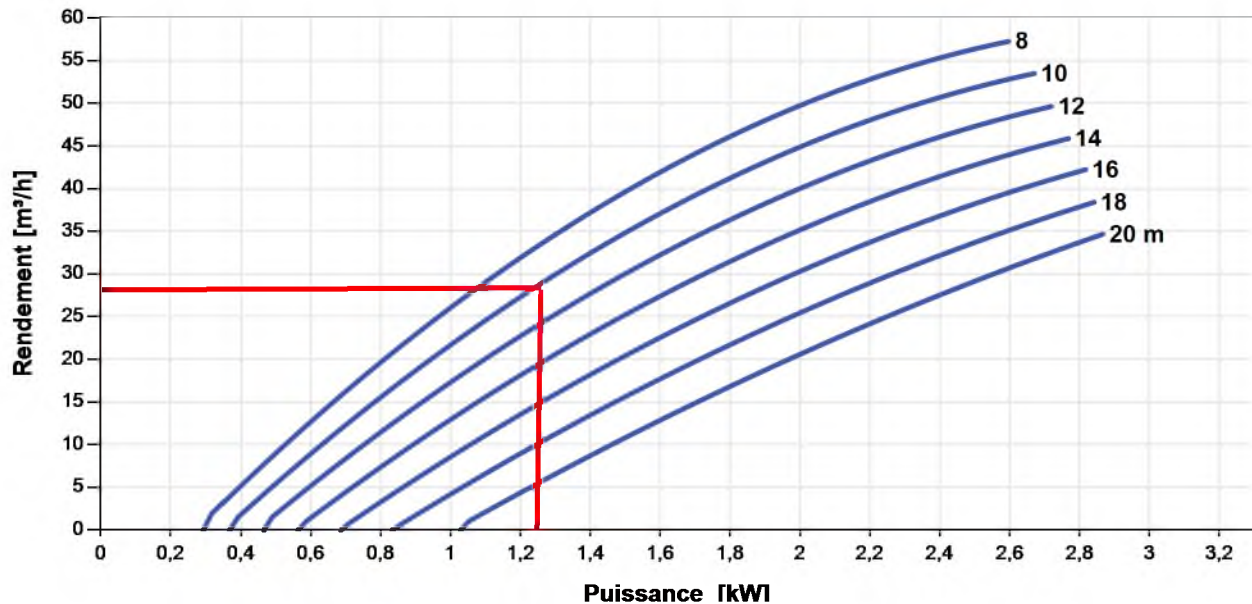


# PS2-4000 CS-F42-10-1

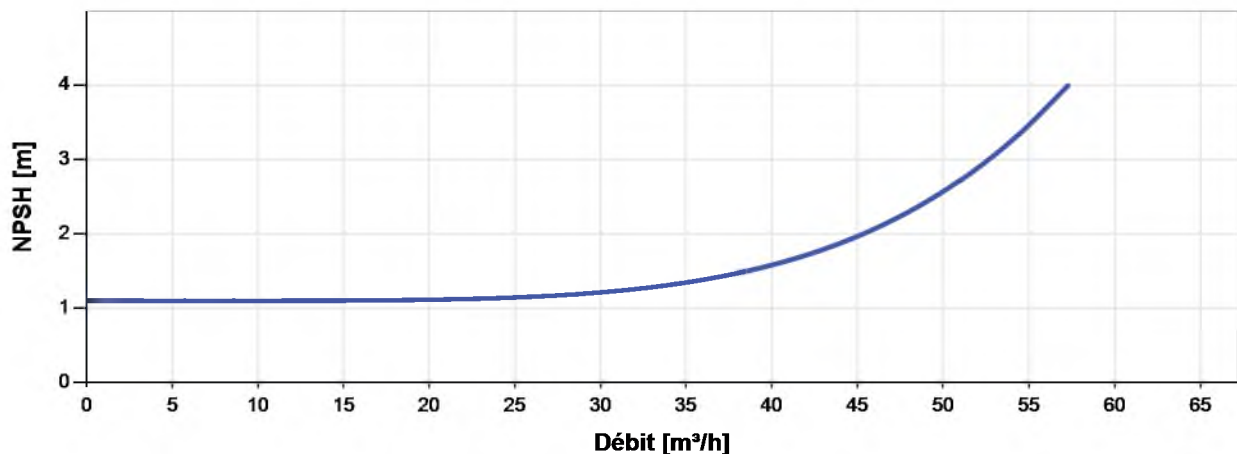
## Système de pompe solaire de surface

### Graphique de la pompe

V<sub>mp</sub>\* > 238 V



### NPSH



Le NPSH (Net Positive Suction Head) n'est pas la hauteur d'aspiration opérationnel. Pour calculer la hauteur d'aspiration opérationnel, s'il vous plaît voyez le manuel d'utilisation.

\*V<sub>mp</sub>: Tension MPP en condition de test standard (STC) : rayonnement solaire 1 000 W/m², température des cellules 25 °C



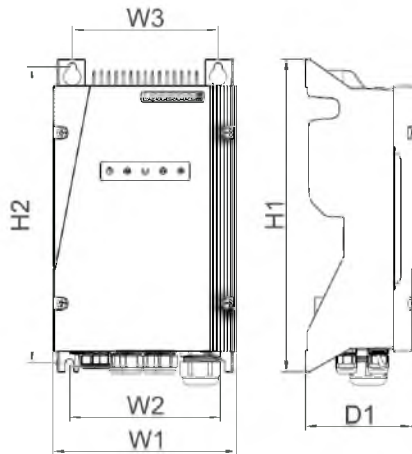
# PS2-4000 CS-F42-10-1

## Système de pompe solaire de surface

### Dimensions et poids

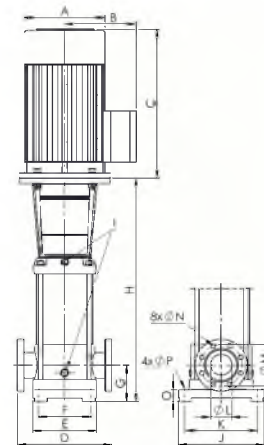
#### Contrôleur

H1 = 352 mm  
H2 = 333 mm  
W1 = 207 mm  
W2 = 170 mm  
W3 = 164 mm  
D1 = 124 mm



#### Pompe

A = 162 mm  
B = 132 mm  
C = 286 mm  
D = 365 mm  
E = 245 mm  
F = 190 mm  
G = 140 mm  
H = 561 mm  
I = G1/2"  
J = 330 mm  
K = 266 mm  
L = 80 mm  
M = 160 mm  
N = 18 mm  
O = 45 mm  
P = 14 mm



Poids net

Contrôleur	6,1 kg
Pompe	72 kg
Moteur	15 kg
Extrémité de la pompe	57 kg



**ANEXO N°03**  
**FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO**  
**SIMAX DE 190 Wp**



**ANEXO N°04**  
**FICHA TÉCNICA DE LOS**  
**CONDUCTORES ELÉCTRICOS THW-90**

## THW-90

### Usos

Aplicación general en instalaciones fijas, edificaciones, interior de locales con ambiente seco o húmedo, conexiones de tableros de control y en general en todas las instalaciones que requieran mayor capacidad de corriente al TW-80.

### Descripción

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido, cableado ó flexible. Aislamiento de PVC.

### 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. THW-90 450/750 V <Sección> <Año de Fabricación>

### Calibres

2.5 mm<sup>2</sup> - 500 mm<sup>2</sup>

### Embalaje

De 2.5 a 10 mm<sup>2</sup>: En rollos estándar de 100 metros.  
De 16 a 500 mm<sup>2</sup>: En carretes de madera.

### Colores

De 2.5 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

90°C

**TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm<sup>2</sup>)**

CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

**TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)**

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

(\*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

**ANEXO N°05**  
**FICHA TÉCNICA DE FUSIBLES**



# Catálogo técnico

FUSIBLES SERIE PF10  
PREPARADOS PARA LA PROTECCIÓN  
DE APLICACIONES FOTOVOLTAICAS

## FUSIBLES PARA PROTECCIÓN DE SEMICONDUCTORES Y APLICACIONES FOTOVOLTAICAS HASTA 900 V d.c.


Los fusibles de la serie PF10 han sido desarrollados especialmente para la protección de semiconductores y para aplicaciones fotovoltaicas. Pueden también ser utilizados como protección en instrumentación y de circuitos auxiliares en ferrocarriles.

- Bajos valores de  $I^2t$  para la protección de semiconductores.
- Pequeñas dimensiones y baja potencia disipada.
- Posibilidad de usarlos en las bases seccionables OPF10.
- Fabricado de acuerdo con la normativa RoHS.
- Clase gR para la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

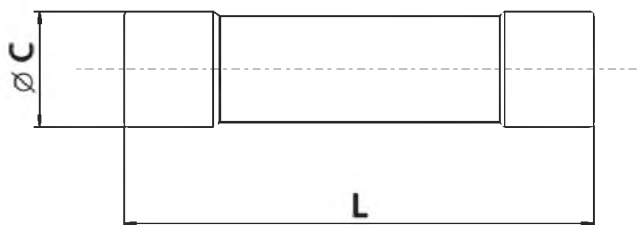
### Fusibles serie PF10

	$I_n$ [A]	Modelo	Código	Potencia disipada [W]	$I^2t$ Total [A <sup>2</sup> s]	Peso [kg]	Embalaje [pcs]
PF10	4	PF10 4A gR	38696	0,69	45	0,01	20
	6	PF10 6A gR	38697	0,95	48	0,01	20
	8	PF10 8A gR	38698	1,43	129	0,01	20
	10	PF10 10A gR	38699	1,62	271	0,01	20
	12	PF10 12A gR	38700	2,16	371	0,01	20
	16	PF10 16A gR	38701	3,18	501	0,01	20
	20	PF10 20A gR	38702	3,82	565	0,01	20

### Especificaciones

Modelo	PF10	
Tensión de Uso	$U_n$	900 V d.c.
Constante de tiempo (L/R)	$\tau$	3 ms
Poder de Corte (RMS)	$I_l$	30 kA
Normas	IEC 60269-1, -2, -4; EN 60269-1, -4; EN 60269	
Certificados		

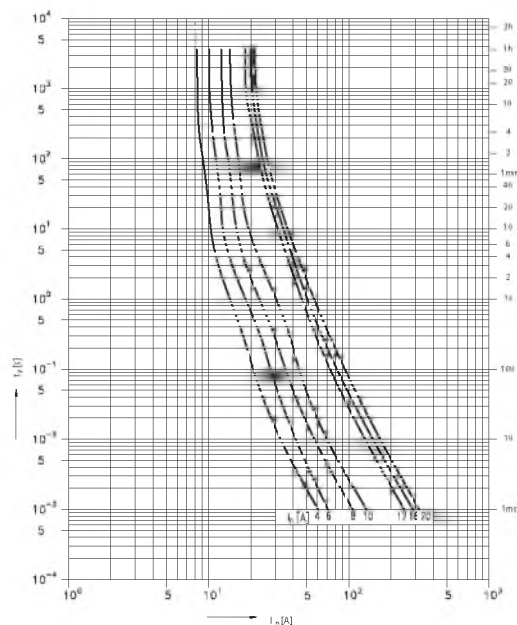
### Dimensiones



Modelo	Ø C [mm]	L [mm]
PF10	10,3	38

### Características

Tiempo de Pre-arco / Característica tiempo-corriente PF10 gR






## BASES SECCIONABLES PARA LOS FUSIBLES CILÍNDRICOS PF10

- Las bases portafusibles OPF10 han sido diseñadas especialmente para los fusibles cilíndricos 10x38 PF10.
- Formato modular DIN.

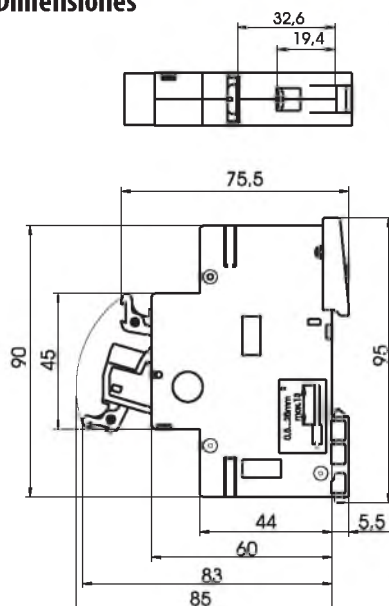
### Bases Portafusibles

Modelo	Código	$I_n$ [A]	Nº de polos	Peso [kg]	Embalaje [pcs]
OPF10-1	37432	32	1	0,092	12
OPF10-2	38869	32	2	0,186	6

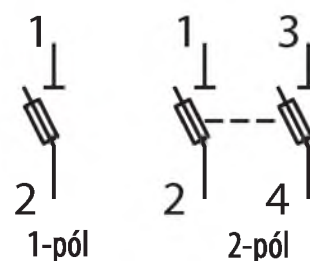
### Especificaciones

Normas	IEC 60947-1, -3, EN 60947-1, -3	
Tensión Máxima de Uso	$U_e$	1000 V d.c.
Intensidad Máxima de Uso	$I_e$	32 A
Categoría de Empleo	1000 V d.c.	DC-20B
Certificados		
Tensión de Aislamiento	$U_i$	1000 V
Talla fusible	diámetro x longitud (mm)	10x38
Potencia disipable máxima	$P_v$	4 W
Durabilidad eléctrica (número de ciclos)		300
Durabilidad mecánica (número de ciclos)		1700
Grado de protección (con base cerrada)		IP 20
Grado de protección (con base abierta)		IP 20
Temperatura de servicio	$t$	-22 ÷ +55 °C
Máx.nivel mar		2000 m
Resistencia sísmica (según VE SKODA)		3 g/8 ÷ 50 Hz
Sección bornes conexión		0,5 ÷ 25 mm <sup>2</sup> (2 x 16 mm <sup>2</sup> )
Par de apriete		2 Nm

### Dimensiones



### Esquema



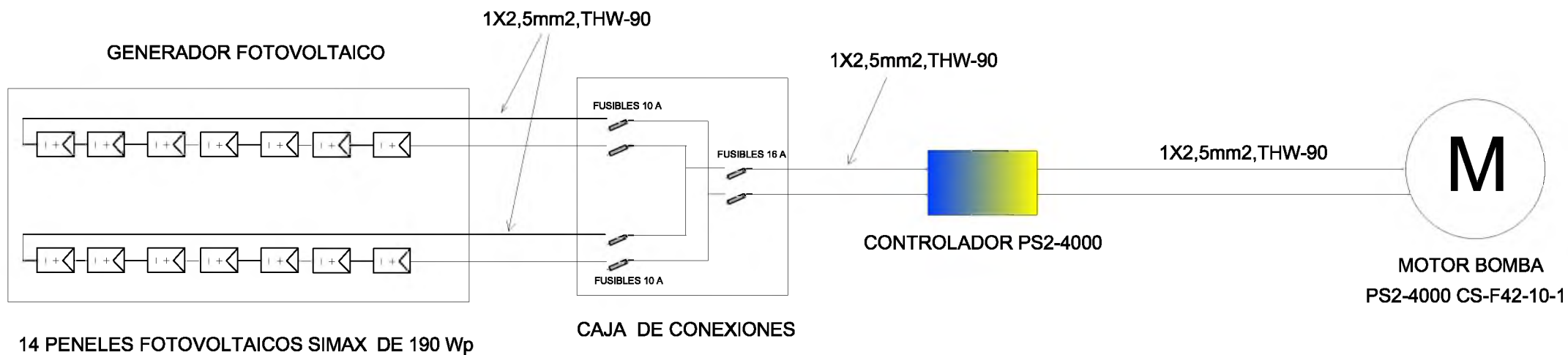


[WWW.OEZ.COM](http://WWW.OEZ.COM)  
[WWW.ESSE-JARAMA.COM](http://WWW.ESSE-JARAMA.COM)

Cambios reservados

**ANEXO N°06**

**DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE BOMBEO  
FOTOVOLTAICO**



**NILSON FRANCO ROJAS AVELLANEDA**

BACH. INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO-FIME

\*ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICO ECONOMICO  
DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL RIEGO  
DE CULTIVO DE PLATANO EN SENTAMIENTO HIMANO EL YUCAL II  
DISTRITO DE MARCAVELICA-SULLANA-PIURA

UBICACION :  
SECTOR : YUCAL II  
DISTRITO : MARCAVELICA  
PROVINCIA : SULLANA  
DPTO. : PIURA

PLANO :  
DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE BOMBEO  
FOTOVOLTAICO

ESCALA :  
S/E  
FECHA :  
AGOSTO 2018

PROYECTISTA :  
NFRA  
CAD:  
NFRA

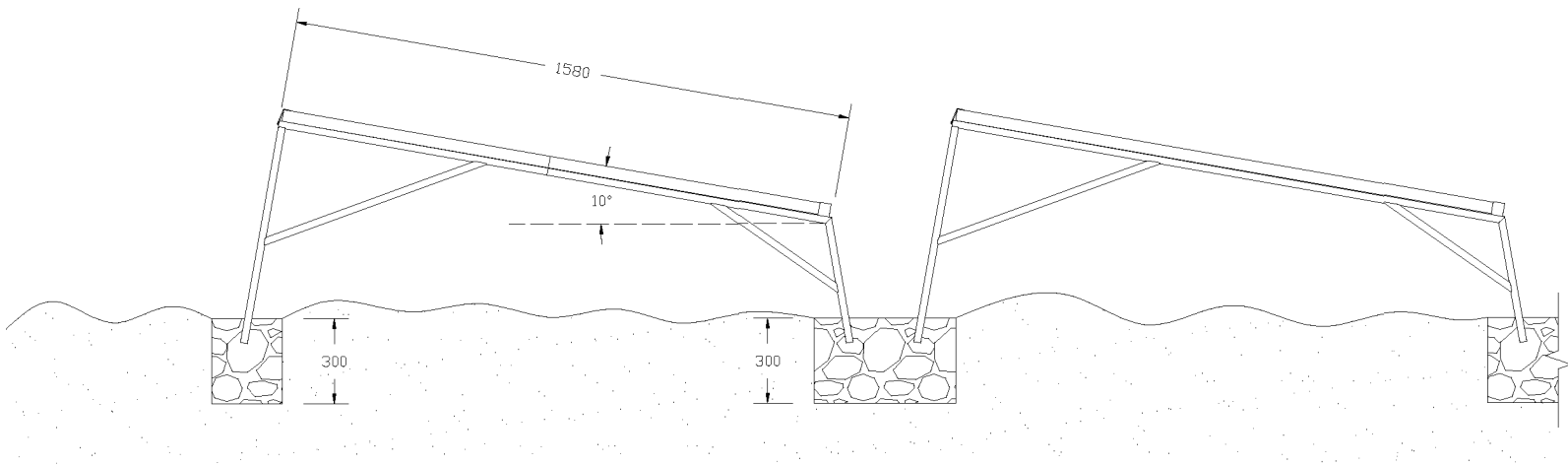
Nº DE PLANO :  
DUSBF-01

**ANEXO N°07**  
**MONTAJE DE**  
**PANELES FOTOVOLTAICOS**

PANELES SOLARES SIMAX 190 Wp

ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA 6 PANELES SOLARES

ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA 8 PANELES SOLARES



**NILSON FRANCO ROJAS AVELLANEDA**  
BACH. INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO-FIME

PROYECTO DE TESIS : *ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICO ECONOMICO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL RIEGO DE CULTIVO DE PLATANO EN EL ASENTAMIENTO EL YUCAL II-MARCAVELICA-PIURA	UBICACION : CASERIO : CHILLVACA DISTRITO : INCAHUASI PROVINCIA : FERREÑAFE REGION : LAMBAYEQUE		
	ESCALA : S/E	PROYECTISTA : NFRA	N° DE PLANO : <b>MPS-03</b>
MONTAJE DE PANELES SOLARES		FECHA : AGOSTO 2018	
		CAD: NFRA	