



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y  
ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL  
MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA**

**José Miguel Carrillo Castellanos**

Asesorado por Msc. Ing. Daniel de Jesús Vásquez Aguilar.

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y  
ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL  
MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ MIGUEL CARRILLO CASTELLANOS.**

ASESORADO POR MSC. ING. DANIEL DE JESÚS VÁSQUEZ AGUILAR.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

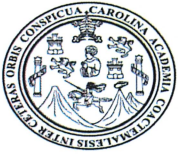
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y  
ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL  
MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de abril de 2022.



**José Miguel Carrillo Castellanos**



EPPFI-PP-0614-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director  
Armando Alonso Rivera Carrillo  
Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Presente.

Estimado Ing. Rivera


Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos**, presentado por el estudiante **José Miguel Carrillo Castellanos** carné número **201314004**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

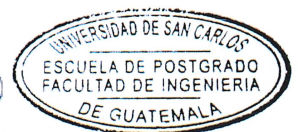
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

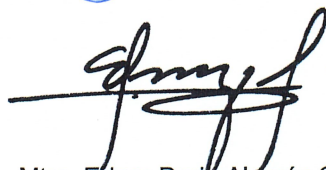
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Daniel De Jesús Vázquez Aguilar  
Asesor(a)  
*Daniel de Jesús Vázquez Aguilar*  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 14,938

  
Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría





Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0614-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA.** , presentado por el estudiante universitario **José Miguel Carrillo Castellanos**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2022



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.47.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS ALDEAS SANTA ROSA Y SAN CRISTÓBAL DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA.** , presentado por: **Jose Miguel Carrillo Castellanos** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Orden de impresión  
Fecha: 01/08/2023 18:25:13  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 47 CUI: 2266743550608

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Quien me ha dado la sabiduría y fortaleza, siendo mi guía constante en cada etapa de mi carrera.
- Mis padres** Héctor de Jesús Carrillo Fabián y Miriam Patricia Castellanos Montepeque, quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración, su amor incondicional, aliento constante y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar este logro.
- Mis hermanos** Jeimy Iliana, Diana Patricia, Héctor Rolando e Irene Marilú Carrillo Castellanos, por su apoyo incondicional y su presencia en mi vida que ha sido un regalo invaluable.
- Mis sobrinas** Jimena y Alessandra Hernández Carrillo, alegraron mi vida con su ternura y amor durante todo este viaje.
- Mi Familia** Por su apoyo, amor y ejemplo de lucha.
- Mis abuelos** José Miguel Carrillo (q. e. p. d.), Matilde Fabián (q. e. p. d.), José Eduvijes Castellanos (q. e. p. d.) y Alicia Montepeque por su amor, ejemplo y enseñanza.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi <i>alma mater</i> , donde encontré conocimiento, amistad y crecimiento. Por forjarme para ser un profesional y por ser parte de mi historia.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Donde mi camino profesional se formó, por encender mi pasión por la ingeniería y por brindarme las herramientas para alcanzar mis metas.
<b>Mis amigos</b>	Pablo Abad, Kevin Recinos, José Carlos Gálvez, Pablo López, Noé García y Alex Ajú por su apoyo, motivación, consejos, amistad, por todos los momentos compartidos.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. Daniel de Jesús Vásquez Aguilar por su confianza y apoyo profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Descripción del problema .....	7
3.2. Formulación del problema .....	7
3.3. Delimitación del problema .....	8
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. General .....	11
5.2. Específicos .....	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	13
7. MARCO TEÓRICO .....	15
7.1. Capítulo 1: factibilidad técnica y económica .....	15
7.1.1. Factibilidad técnica .....	15

7.1.2.	Factibilidad económica .....	15
7.2.	Capítulo 2: energía fotovoltaica .....	16
7.2.1.	Radiación solar .....	17
7.2.2.	Piranómetro .....	18
7.2.3.	Irradiación e Insolación .....	19
7.2.4.	Efecto fotovoltaico .....	20
7.2.5.	Celdas fotovoltaicas .....	22
7.2.6.	Paneles solares .....	26
7.3.	Capítulo 3: bombeo fotovoltaico .....	29
7.3.1.	Funcionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico .....	31
7.3.2.	Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	33
7.3.3.	Condiciones hidráulicas .....	34
7.3.4.	Ecuaciones para el cálculo del bombeo fotovoltaico .....	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	43
9.	METODOLOGÍA .....	45
9.1.	Tipos de estudio de investigación .....	45
9.2.	Unidades de análisis .....	45
9.3.	Variables .....	45
9.4.	Fases de la investigación .....	46
9.4.1.	Fase 1: revisión bibliográfica .....	46
9.4.2.	Fase 2: recopilación de datos de campo y documental .....	46
9.4.3.	Fase 3: estudio de factibilidad técnico .....	47
9.4.4.	Fase 4: estudio económico .....	52

9.4.5.	Fase 5: análisis e interpretación de resultados .....	52
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	53
11.	CRONOGRAMA .....	55
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO .....	57
13.	REFERENCIAS .....	59



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Radiación solar terrestre y su proceso .....	18
<b>Figura 2.</b>	Piranómetro .....	19
<b>Figura 3.</b>	Efecto fotoeléctrico ilustrativo .....	21
<b>Figura 4.</b>	Ilustración de una celda fotovoltaica .....	23
<b>Figura 5.</b>	Desarrollo fotovoltaico de la celda solar y sus partes .....	24
<b>Figura 6.</b>	Celdas solares en la Planta Horus I, Chiquimulilla, Santa Rosa ..	26
<b>Figura 7.</b>	Paneles solares Planta Horus, Chiquimulilla, Santa Rosa .....	27
<b>Figura 8.</b>	Curva característica de I-V de una celda fotovoltaica .....	28
<b>Figura 9.</b>	Elementos principales de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	31
<b>Figura 10.</b>	Bocetos de un sistema de bombeo.....	35

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Diferencia entre materiales de celdas fotovoltaicas .....	25
<b>Tabla 2.</b>	Radiación promedio .....	48
<b>Tabla 3.</b>	Cálculo de bombeo de agua .....	49
<b>Tabla 4.</b>	Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico .....	50
<b>Tabla 5.</b>	Agua bombeada y régimen de bombeo .....	51
<b>Tabla 6.</b>	Resumen de cálculos del sistema de bombeo fotovoltaico .....	51
<b>Tabla 7.</b>	Cronograma de actividades .....	55
<b>Tabla 8.</b>	Presupuesto propuesto .....	57



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>Amph</b>	Amperios por hora
<b>I</b>	Corriente
<b>I<sub>sc</sub></b>	Corriente de cortocircuito
<b>I<sub>mp</sub></b>	Corriente del módulo
<b>h</b>	Horas
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	Insolación
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Irradiancia
<b>l</b>	Litros
<b>MJ</b>	Mega Joules
<b>m</b>	Metros
<b>V</b>	Voltaje
<b>V<sub>oc</sub></b>	Voltaje circuito abierto
<b>V<sub>mp</sub></b>	Voltaje del módulo
<b>W</b>	Watts





## GLOSARIO

<b>Abastecimiento</b>	Proporcionar y suplir de manera adecuada los productos, bienes o servicios para satisfacer demandas o necesidades.
<b>B/C</b>	Relación costo beneficio.
<b>Ciclo hidráulico</b>	Proceso de extracción, transporte y distribución de agua mediante el uso de bombas.
<b>Energía renovable</b>	Fuentes de energía inagotables y sostenibles, estas reducen los gases de efecto invernadero.
<b>Energía</b>	Capacidad de una fuerza para realizar trabajo o generar acción.
<b>Exoatmosférica</b>	Radiación o energía que se encuentra fuera de la atmósfera terrestre.
<b>Factibilidad</b>	Evaluación de viabilidad de llevar a cabo un proyecto considerando aspectos técnicos y económicos.
<b>Fotones</b>	Partículas de luz que transportan energía electromagnética.

<b>Indicadores financieros</b>	Herramientas utilizadas para evaluar y medir el desempeño económico de una empresa o proyecto.
<b>Latitud</b>	Distancia de un punto de la tierra respecto al ecuador, medida en grados.
<b>Matriz energética</b>	Diferentes fuentes de energía utilizadas para satisfacer las necesidades de consumo energético.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>Módulos</b>	Sistema de paneles solares que convierten la luz solar en electricidad.
<b>Sistema Aislado</b>	Sistema independiente y de almacenamiento de energía eléctrica que no está conectado a la red eléctrica.
<b>Tanques</b>	Contenedores diseñados para almacenar agua de manera segura y accesible.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>VAN</b>	Valor presente neto.

## RESUMEN

El siguiente protocolo de tesis tiene como énfasis el poder realizar un análisis técnico y económico para determinar la viabilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico. Este enfoque es especialmente relevante en áreas aisladas con un suministro eléctrico inestable. El estudio busca evaluar las posibilidades de utilizar la energía solar como una solución eficiente y sostenible para el bombeo de agua, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos involucrados.

La energía desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico de un país, ya que impulsa el funcionamiento de numerosos dispositivos y maquinarias que son esenciales para generar trabajo y producción. Históricamente, se ha dependido en gran medida de los combustibles fósiles como principal fuente de energía. Sin embargo, la creciente conciencia sobre el impacto ambiental y la finitud de estos recursos ha llevado a un enfoque cada vez mayor en las energías renovables, como la energía solar. Al aprovechar dicha energía, podemos reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, al tiempo que fomentamos un desarrollo económico sostenible a corto y largo plazo.

En las aldeas de Santa Rosa y San Cristóbal del municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala cuentan con un tanque de agua, el cual abastece las dos comunidades por medio de una bomba de superficie, en tal sentido, la distribución de agua no resulta ser constante todo el tiempo debido a diferentes factores, entre los cuales, la inestabilidad del sistema eléctrico y la falta de mantenimiento a la bomba mencionada. Considerando los factores anteriores por consiguiente se definirá la energía fotovoltaica, la radiación, insolación y lo

que es un bombeo fotovoltaico para tener un panorama amplio de lo que se evaluará en el lugar. Esto conducirá a una evaluación técnica y económica para determinar la viabilidad del estudio.

El estudio se divide en 5 fases de las cuales la primera fase se realiza una revisión bibliográfica para obtener información relevante sobre el proyecto. La segunda fase implica la recopilación de datos de campo y documentales, asegurando la validez técnica y económica de la investigación. En la tercera fase se realiza el estudio técnico que incluye el análisis de la energía fotovoltaica, el bombeo fotovoltaico y el dimensionamiento del sistema. Las fases cuatro y cinco se centran en la viabilidad económica, evaluando las variables como el TIR, VAN y Costo Beneficio. Por último, se analizan los resultados obtenidos y las fases anteriores para evaluar la factibilidad técnica y económica del sistema de bombeo fotovoltaico, lo cual podría ser una guía para futuros proyectos en las áreas aledañas.

# 1. INTRODUCCIÓN

La energía es un importante factor para el desarrollo y crecimiento económico de un país, ya que provee de fuerza a muchos de los aparatos y máquinas que ayudan a producir trabajo. Aunque normalmente la energía que se utiliza es a través del uso de combustibles fósiles, la energía renovable como la del sol y la del viento, son una fuente limpia, como abundante e inagotable.

Actualmente no existe un bombeo de agua eficiente que contemple toda la demanda de agua que existe en las aldeas, se tienen aproximadamente 260 hogares a los cuales se les debe demandar el vital líquido. El proyecto actual que está en deterioro beneficia a las dos aldeas. La bomba sumergible con la que se contaba desapareció y actualmente se usa una bomba de superficie que está conectada a la red eléctrica, esta tarda aproximadamente 3 horas para llenar el tanque de agua. Como el servicio de energía eléctrica es irregular conlleva a que no haya agua durante ese tiempo donde no hay energía.

El propósito de este protocolo de tesis es presentar un estudio de factibilidad técnico y económico que nos ayude a evaluar si es viable un sistema de bombeo fotovoltaico, ya que es una aplicación de especial interés en sistemas aislados y donde la energía eléctrica es inestable.

Los sistemas son confiables y económicamente competitivos para el productor rural. Los sistemas solares de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde 1,000 litros diarios hasta los 50,000 litros diarios tanto para el uso doméstico como para riego de pequeños y grandes terrenos.

Se hará un análisis tomando en cuenta las definiciones de los que es la energía fotovoltaica, radiación, insolación, así como el bombeo fotovoltaico y las condiciones hidráulicas a las que debe relacionarse. Por lo cual, derivado de eso se procederá a hacer una evaluación técnica y económica.

La presente investigación se divide en 3 capítulos para el marco teórico, en donde el primer capítulo define la variable de factibilidad, tanto técnica, como económica. Para el segundo capítulo se definen los conceptos de los que es la Energía fotovoltaica y lo que se relaciona a este tipo de tecnología, para el tercer y último capítulo, se define lo que es el bombeo fotovoltaico, así como su dimensionamiento para un proyecto.

La metodología se divide en 5 fases de la cuales la primera se enfatiza en una revisión bibliográfica de los temas a investigar para evaluar la factibilidad del proyecto.

Para la segunda fase se hará una recopilación de datos de campo y documental de ello, teniendo en cuenta los diferentes parámetros que se pueden recopilar de manera que la investigación tenga validez técnica y económica.

Para la tercera fase se hará un estudio técnico que muestre la variable de la energía fotovoltaica, así como el bombeo fotovoltaico, dimensionando un sistema de este tipo y su procedimiento para calcularlo.

Para la tercera y cuarta fase se hará un estudio económico en donde las variables financieras como el TIR, VAN y Costo Beneficio tomen relevancia en este. Por último, un análisis y la interpretación de los resultados de las fases anteriores para evaluar la factibilidad técnica y económica del sistema de bombeo fotovoltaico.

## 2. ANTECEDENTES

A lo largo de los años se han inventado nuevas alternativas para poder llevar el agua como sustento a las comunidades que no cuentan con el vital líquido o que tienen dificultades para tenerlo. Estas nuevas alternativas son más amigables con el medio ambiente y su costo es más bajo comparado con otras opciones, este es el caso del bombeo fotovoltaico, que ha venido a implementarse en comunidades especialmente rurales en donde se cuenta con una radiación solar ideal y un clima perfecto para que la potencia de esta tecnología funcione.

De acuerdo con Abella y Romero (2009):

En los últimos años esta tecnología se ha venido desarrollando en diferentes países debido a la insuficiente o inestable demanda de suministro de agua en las zonas rurales, estos sistemas se utilizan para dotar de agua potable a usuarios de comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas.

Comparado con otros sistemas como el Diesel, el coste es menor, y este auge se debe a la demanda de los usuarios por la calidad y rendimiento de las instalaciones, así como a la depreciación a corto plazo del sistema, por lo tanto, este tipo de proyectos son viables y confiables.

(p. 4)



Gracias a las estaciones meteorológicas durante todo el año, Guatemala tiene muchas oportunidades para generar electricidad. Como resultado, ha habido proyectos que han hecho de la energía solar el estándar para las nuevas formas de generación de energía.

Según datos del Ministerio de Energía y Minas en el año 2018, Guatemala se encuentra estratégicamente ubicada, ya que la radiación global anual promedio del país es de  $5.3 \frac{kwh}{m^2}$  por día.

El país inició proyectos con generación a base de energía fotovoltaica en el año 2014, de acuerdo con el MEM se tienen al menos 9 plantas conectadas al Sistema Nacional Interconectado, las más cercana al área del estudio es la de Horus I que se encuentra en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, esta cuenta con una potencia efectiva de 50 MW y ha beneficiado no solo a nivel de energía a lugares aledaños, sino a nivel social económico. Empezó a operar en el año 2015.

En cuanto al servicio de agua, el municipio de Chiquimulilla cuenta con un 43.9 % de viviendas sin acceso a fuentes de mejoras de abastecimiento de agua potable. Se prevé que la meta en mejoras de acceso a fuentes de agua para el 2020 aumente a un 73.9 %.

De acuerdo con un artículo publicado en Prensa Libre “67 viviendas en Llano Grande, Chiquimulilla, Santa Rosa, se han beneficiado con la instalación de paneles solares administrados por la Comisión de Desarrollo del Departamento (CODEDE) proporcionados por el gobierno con un costo de Q. 490,628.00” (Cardona y Magzul, 2011, párr. 1-12).

La experiencia muestra que un proyecto es económicamente factible cuando el ciclo hidráulico excede los 1500  $m^4$  (Abella y Romero, 2009).

“La elección de un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica frente a otras fuentes energéticas depende principalmente de factores geográficos y económicos” (Abella y Romero, 2009, p. 5). Esto debido a que la latitud, la altura de lugar y condiciones meteorológicas juegan un papel importante para proyectos como estos.

Actualmente, el desarrollo de un país se mide por las diferentes alternativas que brinda a las comunidades amenazadas por la falta de acceso a la electricidad, por lo que muchos países han optado por optar por energías renovables como la solar y eólica, energía limpia y energía abundante (Salmerón y Blandón, 2014).

“Los sistemas solares de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde 1,000 litros diarios hasta los 50,000 litros diarios tanto para el uso doméstico como para riego de pequeños terrenos y cultivos” (Salmerón y Blandón, 2014, p. 38). Por lo que para este proyecto se tomará en cuenta la capacidad que se pueda suministrar.

“La experiencia en la operación de bombas fotovoltaicas ha demostrado que, debido a su simplicidad, alta confiabilidad y funcionamiento independiente, son sistemas adecuados para las zonas rurales remotas” (Ortiz y Aldana, 2013, p.1). Para esto, se hace un estudio de componentes del sistema, análisis energético, requerimiento del sistema, así como la elección de la bomba solar.

Los proyectos de Energías Renovables promueven la inversión en el sector energético, no solo diversificando la matriz energética sino también estabilizando los precios de la electricidad en el mediano y largo plazo.

Teniendo en cuenta todos los diferentes proyectos realizados con este tipo de tecnología, se puede decir que ha beneficiado enormemente a las comunidades rurales, especialmente aquellas con servicios deficiente de agua y energía (Cruz, 2011).

En este caso se evaluará la factibilidad económica y técnica de un sistema de bombeo fotovoltaico conectado a la red, teniendo en cuenta que en invierno se seguirá utilizando las baterías (sistema aislado), en caso de emergencia.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción del problema**

Actualmente, se tiene un sistema de bombeo irregular, debido a que, el proyecto que se llevó a cabo para implementar agua potable en la aldea ha tenido varios problemas en cuanto al seguimiento del mantenimiento de las bombas. Por lo que la bomba sumergible que inició operación desapareció, dando como resultado que ahora se use una bomba de superficie de 7 caballos de fuerza conectada a la red eléctrica y en un nuevo pozo. El pozo actual tiene una profundidad de 60 metros. La red distribución es irregular en las aldeas, por lo cual, cuando es así no se cuenta con agua.

Las bombas ya sean centrifugas o sumergibles deben estar en constante mantenimiento, estas pueden deteriorarse debido a niveles grandes de sobretensiones, niveles altos de corriente, suciedad, entre otras. Las aldeas están creciendo en población, esto lleva a buscar una mejor manera de abastecerse de agua.

#### **3.2. Formulación del problema**

- Pregunta central

¿Será factible un estudio de factibilidad técnico y económico de un sistema de bombeo fotovoltaico para el abastecimiento de agua a toda la comunidad, basándose en información recopilada?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Se contará con la suficiente radiación solar para generar la potencia requerida para un sistema de bombeo fotovoltaico?
  - ¿Cuál es el lapso de tiempo que se le debe dar mantenimiento a este tipo de sistemas tomando en cuenta los cortes de energía eléctrica?
  - ¿Cuál es el monto de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico?

### **3.3. Delimitación del problema**

El departamento de Santa Rosa cuenta con el municipio de Chiquimulilla, el cual consta de varias aldeas y caseríos entre ellas Aldea Santa Rosa y San Cristóbal, este municipio se caracteriza por tener un nivel alto de radiación solar por estar ubicado geográficamente en la parte oriente del país, actualmente existen plantas de energía solar que generan energía y posteriormente inyectan está a la red eléctrica para uso de la demanda, esto lo hace ser una zona perfecta para proyectos fotovoltaicos.

Se ha tenido un aumento en su población y por lo tanto se necesita de una mejor cobertura de electricidad, así como de agua potable. El índice de desarrollo (IDH) según el Informe Nacional de Desarrollo Humano, 2011 es de 0.621 para el año 2002.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación de protocolo como trabajo de graduación se rige bajo los requerimientos de la Maestría de Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo las siguientes líneas de investigación:

- Área energética:
  - Gestión y uso eficiente de la energía
  - Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos
  - Formulación y evaluación de proyectos energéticos
  - Impactos económicos y financieros en proyectos energéticos

Las distribuidoras de energía eléctrica a nivel regional y nacional no están en capacidad de suministrar suficiente energía y potencias para sus clientes, estas por lo regular manejan costos altos de energía y no son suficientes para el requerimiento que necesitan las comunidades.

Por la razón antes mencionada, es de suma importancia el fomento del uso de fuentes de energía renovables como la fotovoltaica en zonas rurales de Chiquimulilla, incentivando estas alternativas como uso ideal para bombeos hidráulicos, mediante un sistema de bombeo fotovoltaico conectado a la red eléctrica y un sistema aislado de baterías en la temporada de invierno como emergencia.

La propuesta de un estudio de factibilidad técnica y económica de un sistema de bombeo fotovoltaico es en parte una alternativa para las aldeas Santa Rosa, San Cristóbal, Chiquimulilla, respecto a la creciente demanda de agua potable y una mejora a la distribución de esta. Por otra parte, se tendrá como beneficio el ahorro en la facturación de agua potable, por el consumo de agua, beneficiando de esta manera a las aldeas mencionadas, ya que se tendrán más recursos disponibles y opciones para el desarrollo integral de la comunidad. Este beneficiaría a aproximadamente 260 hogares.

Este estudio se desarrolla en el ámbito profesional de la maestría de energía y ambiente así también con las bases de mecánica y eléctrica para su correcto análisis de factibilidad y asimismo que se incentive a usar este tipo de tecnología renovable.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Evaluar la factibilidad técnica y económica para el estudio de implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico, para el abastecimiento de agua en las aldeas de Santa Rosa y San Cristóbal del municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa.

### **5.2. Específicos**

- Determinar los niveles promedio de radiación solar que se registran en la zona, para generar la suficiente potencia requerida para el bombeo hidráulico, así como identificar los mantenimientos adecuados para estas bombas solares y así tener un uso continuo y correcto.
- Describir la aplicación de sistemas de bombeo fotovoltaico en el punto seleccionado de la zona mediante información recopilada para su implementación de un equipo adecuado.
- Cuantificar la inversión, así como el tiempo de retorno en base a la factibilidad económica y técnica por medio de datos analizados y asimismo no tener pérdidas económicas en este estudio.





## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Se brindará la base por medio del estudio técnico y económico para la incentivar este tipo de proyectos que son considerados como la energía del futuro.

Las aldeas Santa Rosa, San Cristóbal del municipio de Chiquimulilla actualmente tienen problema con el abastecimiento de agua, debido a que no se les da mantenimiento a las bombas en su debido tiempo, sumado a esto, el servicio de energía eléctrica de la distribuidora es inestable.

Según los proyectos de energías renovables y eficiencia energética en los 8 países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) promovidos por la Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA) se puede analizar que este tipo de energías va en aumento y está siendo de gran beneficio para cada país en donde se utiliza.

El aporte es proponer un estudio técnico económico para ver la viabilidad del proyecto, así como incentivar este tipo de tecnologías renovables.

Actualmente no se cuenta con un sistema de bombeo fotovoltaico en la comunidad, así como un estudio de factibilidad técnico económico. Se hará un análisis de información recopilada de radiación solar, insolación, consumo de agua promedio de las comunidades en el lugar para luego un estudio técnico y económico tomando en cuenta indicadores financieros.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Capítulo 1: factibilidad técnica y económica**

El estudio de factibilidad técnica y económica tiene como variables la radiación, insolación y variables financieras como el TIR, VAN, los cuales se detallan a continuación.

#### **7.1.1. Factibilidad técnica**

De acuerdo con Rus (2020) “la factibilidad técnica determina si se dispone de los conocimientos, habilidades, equipos o herramientas necesarios para llevar a cabo los procedimientos, funciones o métodos involucrados en un proyecto” (párr. 1).

Estas investigaciones son fundamentales. En primer lugar, porque gracias a ellos sabremos si podemos trabajar en proyectos con los recursos técnicos disponibles. Segundo, porque si tuviéramos que comprar más, podríamos saber su tamaño, tiempo y costo. Por lo tanto, pueden cuantificarse en función de la rentabilidad financiera (Rus, 2020).

#### **7.1.2. Factibilidad económica**

Cuando se trata de la factibilidad económica, debe realizar un análisis integral de costo-beneficio de su negocio o proyecto y considerar estos dos aspectos. Si la evaluación muestra que los costos superan los beneficios, es mejor no desarrollarla. Sin embargo, si los beneficios superan los costos,

entonces la decisión de continuar con el proyecto será menos riesgosa, aunque no está exenta de riesgos (Quiroa, 2020).

Para este análisis se tomará en cuenta lo que conlleva la inversión, así como los costos por operación y mantenimiento a lo largo del tiempo. Esto con el fin de llevar a cabo la decisión de viabilidad del proyecto.

Una matemática financiera que llevará estos conceptos:

- TIR (tasa interna de retorno)
- VAN (valor presente neto)
- B/C (relación beneficio costo)

Para la parte técnica se usarán los diferentes conceptos y dimensionamientos a continuación, que servirán como base para la factibilidad técnica.

## **7.2. Capítulo 2: energía fotovoltaica**

La energía a base del sol es una energía renovable que genera proyectos de gran magnitud en la actualidad debido a su impacto positivo con el medio ambiente, esta energía es llamada fotovoltaica.

Esto se basa en el efecto fotovoltaico, que se basa básicamente en el hecho de que la luz solar se puede convertir en electricidad utilizando un material semiconductor conocido como célula fotovoltaica (Monteza, 2019).

### 7.2.1. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de distintas frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta) (Vega, 2008).

Dicho de otra forma, la radiación solar es la base por la cual un panel fotovoltaico funciona produciéndose el efecto fotovoltaico.

- Radiación solar directa: es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Esta radiación es la más aprovechada por los paneles solares ya que su efecto llega directamente a las celdas fotovoltaicas, la unidad de medida de la radiación solar es  $W/m^2$ .

- Radiación solar difusa: la radiación que cruza la atmósfera es reflectada o absorbida por las nubes. Se propaga en todas direcciones por reflexión y absorción, no solo de las nubes, sino también de partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el suelo, etc.

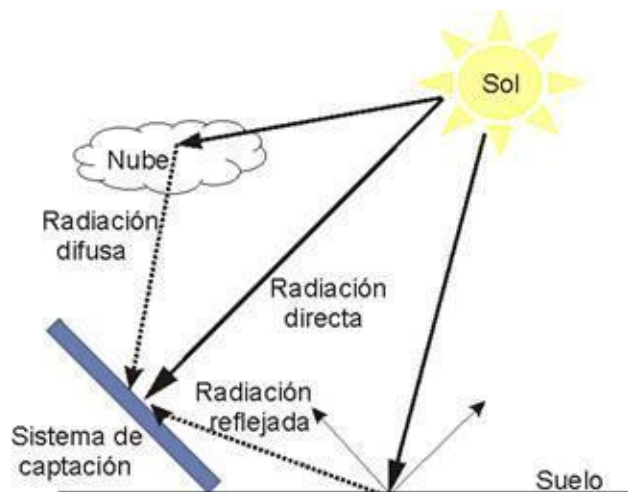
La radiación solar difusa es esencial para la fauna y para todo el ecosistema.

“La radiación total es la suma de la radiación directa y la difusa” (Vega, 2008, p. 39).

Vega (2008) dice que “en un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa” (p. 39).

### Figura 1.

*Radiación solar terrestre y su proceso*



*Nota.* Radiación solar terrestre. Del Pilar y Ramírez. (2008). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia.* (<https://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2>) consultado el 21 de agosto de 2020. De dominio público

### 7.2.2. Piranómetro

Marrodán (2012) es un instrumento para medición de la radiación solar que emana de todo un hemisferio. Se utiliza para mediciones de radiación global y, junto con una pantalla circular, para mediciones de radiación celeste.

En Guatemala estos instrumentos en su mayoría son traídos de otros países, su costo ronda en un precio de \$ 100.00 a \$ 300.00, aproximadamente entre 800 a 2,500 quetzales.

**Figura 2.**

*Piranómetro*



*Nota.* Instrumento para medición de la radiación solar. SENSOVANT. (2022). *Piranómetro de Primera Clase (A)*. (<https://sensovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/piranometro-de-primera-clase-a/>) consultado el 12 de agosto de 2022. De dominio público.

### **7.2.3. Irradiación e Insolación**

Ezpeleta, (2010) define la Irradiación como “La proyección de energía en una superficie por unidad de área durante un cierto período de tiempo. Se mide en  $\frac{MJ}{m^2}$  o  $\frac{kWh}{m^2}$ ” (p. 143).



El conocimiento de la irradiancia solar que llega al exterior de la atmósfera terrestre (irradiancia solar exoatmosférica o constante solar) es de vital importancia para estimar la que posteriormente llegará a cada punto de la superficie terrestre.

La Organización Meteorológica Mundial recomienda usar, como valor medio de la constante solar,  $1367 \frac{W}{m^2}$ . Esta constante es de importancia en los análisis de sistemas fotovoltaicos.

La insolación definida es la acumulación de energía solar promedio durante un período de tiempo, su unidad de medida es  $\frac{kWh}{m^2}$ .

La insolación nos sirve para tener la información adecuada para realizar un proyecto de energía fotovoltaica, específicamente promediando en el tiempo.

Para entender la diferencia de los conceptos de radiación, irradiancia e irradiación el sitio web HelioEsfera (2020) explica que:

Si hablamos de energía solar en términos técnicos, dejamos la radiación solar para un concepto general, y no hablamos de magnitud. Mientras que irradiancia e irradiación corresponden a la potencia y energía de la radiación solar por unidad de superficie. (párr. 6)

#### **7.2.4. Efecto fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico como la base del proceso por el cual las células fotovoltaicas convierten la luz solar en electricidad. La luz del sol se compone de

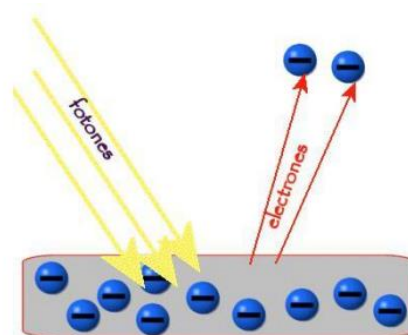
fotones o partículas energéticas. “Estos fotones tienen diferentes energías, correspondientes a diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones golpean una celda fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos o pueden atravesarla. Sólo los fotones absorbidos generan electricidad” (Blas, 2011, p. 53).

Este efecto data de los años de Albert Einstein que de acuerdo con la historia gracias a este estudio (descubierto anteriormente por Hertz) ganó el premio nobel de física en 1921, según Einstein, hablando de electrones que absorben cuantos de energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica (Rasero, 2011).

Rasero (2011) consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética. La obtención de energía eléctrica se realiza a través de células fotovoltaicas.

### Figura 3.

*Efecto fotoeléctrico ilustrativo*



*Nota.* Efecto fotoeléctrico. Obtenido de C. Rasero (2011). *Energía Solar Fotovoltaica.* (p. 6). Escuela de Organización Industrial.

El efecto fotovoltaico puede afectar a cualquier plataforma, por lo que gracias a él y a las células fotovoltaicas (inventadas), se produce la conversión de la radiación solar en energía eléctrica (efecto fotovoltaico). Cabe señalar que este efecto lo producen los materiales semiconductores, concretamente el silicio. La corteza terrestre está compuesta por un 27.72 % de este material, no existe en estado libre.

### **7.2.5. Celdas fotovoltaicas**

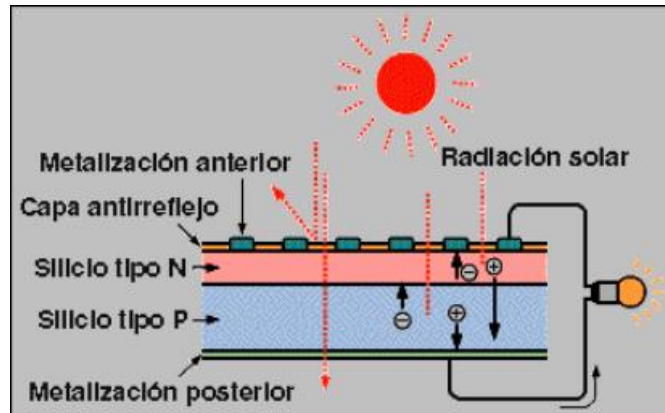
Estas celdas están hechas de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, el componente principal de la arena) con la adición de impurezas de algunos elementos químicos (boro y fósforo), y cada celda es capaz de generar una corriente de 2 amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa (Campuzano y Campuzano, 2016).

Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula) (Campuzano y Campuzano, 2016).

Su construcción está especialmente aunada a que incida una radiación solar en ella, por lo que cuando las ondas electromagnéticas inciden está inicia el proceso de convertir energía solar en electricidad.

#### Figura 4.

*Ilustración de una celda fotovoltaica*

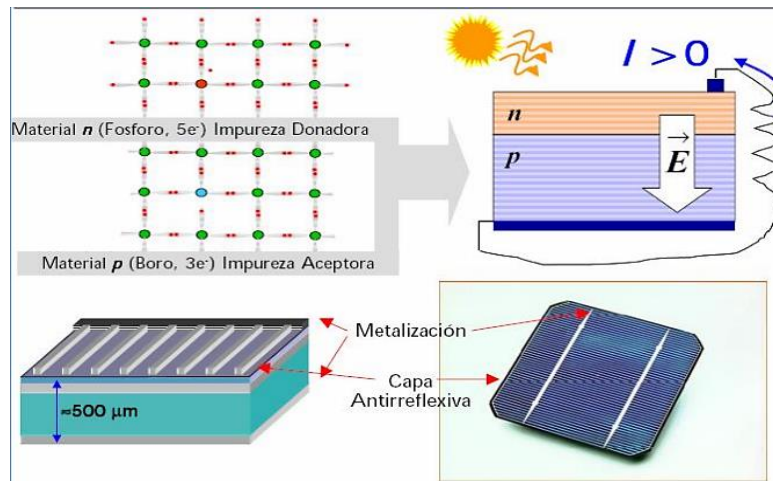


*Nota.* Celda fotovoltaica. Obtenido de D. Salmerón y J. Blandón. (2014). *Estudio de preinversión de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio de Jinotepe.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/1458/1/60102.pdf>

Una celda por sí sola suele generar un voltaje muy pequeño, por lo que se conectan en serie con cable de cobre para que aumenten su voltaje y así también su corriente.

## Figura 5.

### Desarrollo fotovoltaico de la celda solar y sus partes



*Nota.* Desarrollo fotovoltaico. Obtenido de D. Salmerón y J. Blandón. (2014). *Estudio de preinversión de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio de Jinotepe*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/1458/1/60102.pdf>

Finalmente, Martínez y Fuentes (2016) dice que existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas:

- Monocristalinos: compuestos en secciones de un único cristal de silicio, generalmente circular u octogonal.
- Policristalinos: formados por pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Orbegozo y Arivilca (2010) hace relación a las diferencias entre estos materiales:

**Tabla 1.**

*Diferencia entre materiales de celdas fotovoltaicas*

Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13 – 15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12 – 14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	(8 – 11)
Películas de silicio cristalino sobre vidrio		Película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	13	6 – 9
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18	(8 – 11)
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	(7 – 10)
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO <sub>2</sub> sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)	

*Nota.* Diferencia entre materiales de celdas fotovoltaicas. Obtenido de C. Orbegozo y R. Arivilca. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica. Manual Técnico para instalaciones domiciliarias.* (p. 12). Green Energy.

Las más usadas en la industria son las monocristalinas debido a que tienen una mejor conductividad de electricidad y su eficiencia es mayor a la policristalina. Un punto muy importante es el precio y es que este varía según el tipo de material, su confiabilidad y tiempo de vida juegan un papel importante a la hora de elegir su uso (Bayod, 2009).

## **Figura 6.**

*Celdas solares en la Planta Horus I, Chiquimulilla, Santa Rosa*



*Nota.* Celdas solares en la Planta Horus I. Elaboración propia.

### **7.2.6. Paneles solares**

Conjunto de celdas fotovoltaicas que usan el efecto fotovoltaico conectadas en serie en un módulo con material de protección. Estas celdas están conectadas de manera que produzcan un voltaje y una corriente más alta, así se forma un panel solar.

Ezpeleta (2010) dice que “para tener más tensión hay que conectar varias células en serie. Conectando 36 (dimensiones normales, 7.6 cm de diámetro) se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12 V, incluso con iluminaciones mucho menores de  $\frac{1kW}{m^2}$ ” (p. 69).

La mayoría de los módulos fotovoltaicos tienen entre 36 y 96 celdas en serie. Los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico están directamente ligados a los parámetros eléctricos de sus células, con su numeración y su montaje serie-paralelo (Ortiz y Aldana, 2013).

**Figura 7.**

*Paneles solares Planta Horus, Chiquimulilla, Santa Rosa*



*Nota.* Celdas solares en la Planta Horus I. Elaboración propia.

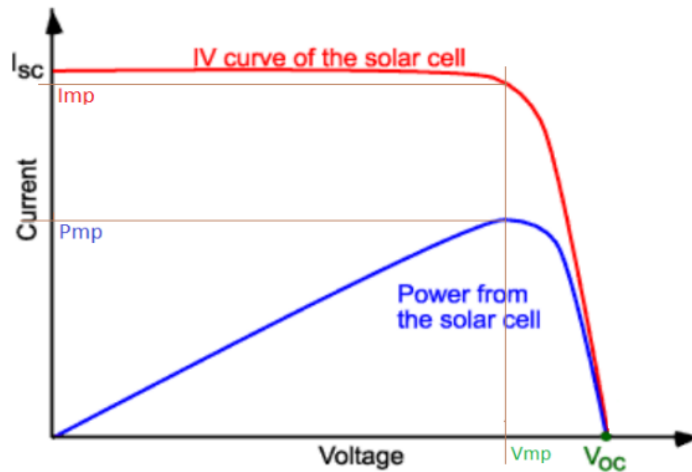
La capacidad de los paneles solares depende de la radiación que se deposite en ellos, de ser así, teniendo en cuenta la potencia de bombeo requerida o el consumo requerido, se seleccionarán los paneles solares.

A continuación, los parámetros importantes del funcionamiento de una celda fotovoltaica:



## Figura 8.

Curva característica de I-V de una celda fotovoltaica



Nota. Curva característica de I-V. Obtenido de B. Ramos. (2014). *Modelo del generador de un sistema de bombeo fotovoltaico*. [Tesis de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]. Archivo digital <https://core.ac.uk/reader/44310250>.

La figura 8 se observa que existe una corriente específica para cada tensión, por lo que el punto de funcionamiento dependerá de la carga conectada, las condiciones climáticas y los controles que realicemos (el objetivo es trabajar siempre a máxima potencia).

Se puede observar que cuando hacemos un cortocircuito en el panel solar, la corriente de cortocircuito es  $I_{sc}$ , es la más grande, aumentará, si tenemos un circuito abierto en el panel, la corriente  $I_{sc} = 0$

Como se puede observar en cuanto aplicamos corto circuito al panel solar la corriente de corto circuito es  $I_{sc}$ , es máxima, aumenta y si en caso tenemos un circuito abierto en los extremos de la celda o panel la corriente  $I_{sc}=0$

Según Ortiz y Aldana (2013) al igual que la irradiación solar, la temperatura también influye sobre el desempeño de los paneles de la siguiente manera:

- La tensión de circuito abierto disminuye al aumentar la temperatura
- La intensidad de cortocircuito aumenta al aumentar la temperatura
- La potencia del módulo disminuye al aumentar la temperatura

Al aumentar la irradiancia, apenas aumenta  $V_{oc}$ , pero sí  $I_{sc}$ , por lo que  $I_{mp}$  también, incrementándose así la máxima potencia disponible, lo cual es beneficioso (Ramos, 2014).

La orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos debe analizarse de tal modo que reciban una óptima radiación solar. Existen sistemas fijos y sistemas de seguimiento solar (Ortiz y Aldana, 2013).

Para este estudio se estudia un sistema de instalación fijo debido a que el costo del seguidor no justifica su costo en cuanto a la cantidad de bombeo que se estima.

### **7.3. Capítulo 3: bombeo fotovoltaico**

Ramos (2014) el bombeo fotovoltaico, como su propio nombre indica, consiste en la extracción de agua mediante una bomba que recibe la energía del sol a partir de uno o varios paneles solares.

Este bombeo se tiene como alternativa en varios países de Europa y Norteamérica como una opción en poblaciones donde no se cuenta con agua o la energía es inestable, en Latinoamérica ya hay muchos proyectos de estos que benefician a gran parte de la población con escasos recursos de agua potable.

Campuzano y Campuzano (2016) nos dice que existen dos alternativas para interpretar el sistema de bombeo solar:

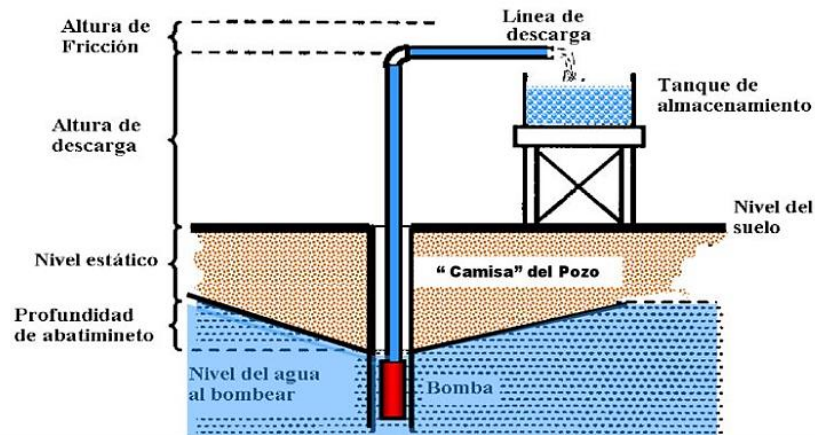
- Bombeo solar directo: el agua se extrae del pozo durante el tiempo de radiación solar únicamente, almacenándose en un depósito. Se evita los costes asociados a las baterías.
- Bombeo con baterías: si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

El sistema se compone de los siguientes equipos según Salmerón y Blandón (2014):

- Paneles fotovoltaicos: captan la energía del sol y la convierten en electricidad, corriente continua.
- Acoplamiento paneles-bomba: transforma la energía generada por los paneles fotovoltaicos en adecuada para el funcionamiento de la bomba.
- Bomba: el equipo fundamental que extrae el agua del pozo. (p. 16)

## Figura 9.

### *Elementos principales de un sistema de bombeo fotovoltaico*



*Nota.* Elementos de un sistema de bombeo. Obtenido de A. Sanchez. (s.f.). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.* (p. 2). Sandia National Laboratories.

Para estos proyectos se utilizan bombas sumergibles capaces de sufragar la capacidad del depósito o tanque de agua, así mismo se toma en cuenta la potencia que generaran los paneles para darle arranque a la bomba.

#### **7.3.1. Funcionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico**

La fuente de potencia son los paneles solares, estos tienen bajo costo en mantenimiento y son perfectos en donde se da un ambiente a temperaturas altas.

El sistema generador consistirá en un conjunto de módulos fotovoltaicos (paneles solares) conectados en serie o en paralelo que generarán la energía necesaria para accionar el motor de la bomba, y en el centro estará el controlador electrónico de la bomba (amplificador de potencia), dispositivo electrónico

utilizado en la mayoría de las bombas solares. Esto funciona como una transmisión automática, lo que ayuda a que la bomba arranque en lugar de detenerse, al reducirse la radiación.

Cabe señalar que la solución más simple y económica implica la acumulación de agua en lugar de energía eléctrica, utilizando tanques, el almacenamiento de agua en tanques es mucho más barato que el almacenamiento de energía en las baterías (Campuzano y Campuzano, 2016).

Las baterías deben reemplazarse cada 5 a 7 años, y aunque los tanques estén bien construidos durante décadas, el almacenamiento de la batería generalmente solo es efectivo cuando el rendimiento máximo del pozo durante el día no es suficiente. Cuando se necesita agua y se debe bombear por la noche, generalmente no se recomienda usar baterías para sistemas de bombeo fotovoltaicos.

Según Salmerón y Blandón (2014):

El estado de funcionamiento del sistema corresponderá al caso de que la potencia proporcionada por el generador fotovoltaico sea igual a la potencia consumida por el motor, la tensión y corriente proporcionada por el sistema generador será la tensión y corriente de alimentación del motor.

(p.17)

“Para diseñar un sistema será necesario conocer el rendimiento del sistema de bombeo que es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica absorbida” (Campuzano y Campuzano, 2016, p. 18). Esta potencia

eléctrica absorbida es la que proviene del sol y que es inyectada a los paneles solares.

El municipio de Chiquimulilla, el período más brillante del año dura aproximadamente tres meses, del 1 de febrero al 13 de abril, con una radiación incidente promedio diaria en forma de ondas cortas por metro cuadrado mayor a  $6.4 \text{ kWh}$ . El mes más resplandeciente del año en Chiquimulilla es marzo, con un promedio de  $6.8 \text{ kWh}$ .

### **7.3.2. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico**

Salmerón y Blandón (2014) describe la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico:

- Condiciones hidráulicas:
  - Profundidad del nivel del agua en el pozo
  - 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)
- La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día está determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.

De acuerdo con Campuzano y Campuzano (2016) estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico:

sumergible, flotante, con bomba centrífuga de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o corriente alterna, entre otros.

Salmerón y Blandón (2014) considera que los componentes esenciales en toda instalación son: subsistema de generación o generador fotovoltaico, subsistema motor-bomba y subsistema de acumulación y distribución” (p. 18).

### 7.3.3. Condiciones hidráulicas

Comprender los conceptos básicos de las condiciones hidráulicas es importante para seleccionar sistemas de bombas que estén directamente relacionados con las cargas dinámicas totales y los flujos diarios que requieren.

En base a esto define lo siguiente:

- CDT= carga dinámica total
- CE= carga estática
- CD= carga dinámica

Donde:

$$CE = \text{nivel estático} + \text{abatimiento} \quad (\text{Ec. 1})$$

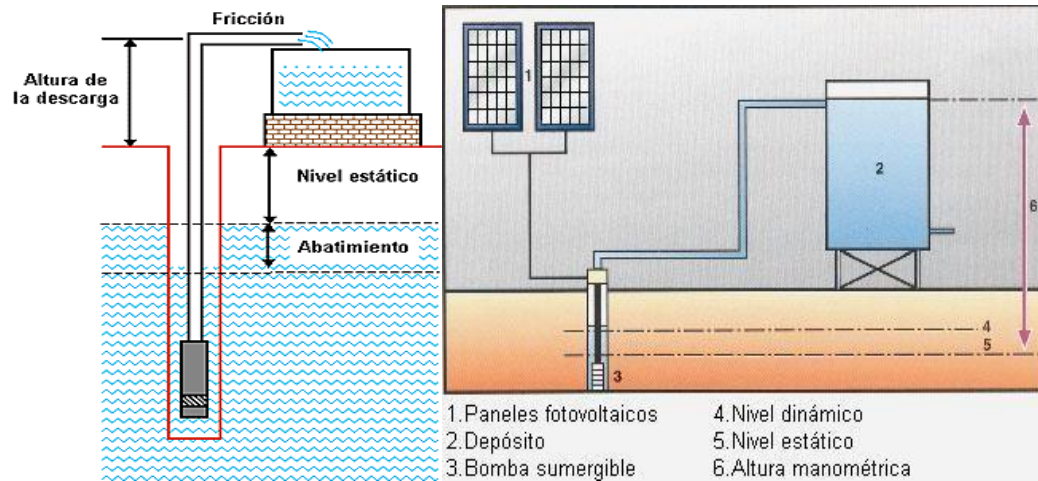
$$CD = \text{altura de la descarga} + \text{fricción(tuberías)} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por lo tanto:

$$CDT = CE + CD = [\text{Nivel est.} + \text{abatimiento} + \text{altura descarga} + \text{fricción}](\text{Ec. 3})$$

**Figura 10.**

*Bocetos de un sistema de bombeo*



*Nota.* Bocetos de un sistema de bombeo fotovoltaico de acuerdo con las condiciones hidráulicas. Obtenido de D. Salmerón y J. Blandón. (2014). *Estudio de preinversión de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio de Jinotepe.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/1458/1/60102.pdf>

De acuerdo con el estudio, a continuación, se enlistan las siguientes ecuaciones:

### 7.3.4. Ecuaciones para el cálculo del bombeo fotovoltaico

De acuerdo con Salmerón y Blandón (2014) se definen las ecuaciones de la siguiente manera:



- Ecuación del régimen de bombeo

Esta será la cantidad de agua requerida (l/día), entre el valor de insolación en horas pico por día ( $\frac{KWh_{pico}}{m^2} dia$ ), correspondientes al mes crítico.

$$Régimen\ de\ bombeo = \left[ \frac{Volumen\ de\ agua\ \left(\frac{l}{día}\right)}{\left(Insolación\ \frac{KWh_{pico}}{m^2\ día}\right)} \right] \frac{litros}{día} \quad (Ec. 4)$$

- Ecuación de la carga estática

De acuerdo con Campuzano y Campuzano (2016) Para la carga estática se consideran las siguientes variables:

- Nivel estático (m): valor medido desde el suelo hasta el espejo de agua cuando no opera una bomba.
- Abatimiento: valor medido desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba. Este valor se obtiene con frecuencia de pruebas realizadas durante el aforo.
- Altura de descarga: valor medido desde el nivel del suelo al punto donde el agua es descargada.

$$Carga\ estática = [Nivel\ estático + abatimiento + altura\ de\ descarga] m (Ec. 5)$$

- Ecuación del recorrido de tubería

La longitud total de la tubería a través de la cual pasa el agua se determina de la siguiente manera:

$$\text{Altura tubería} = [\text{carga estática} + \text{recorrido adicional de tubería}] \text{ m} \text{ (Ec. 6)}$$

- Ecuación de la carga por fricción

Pérdidas por fricción que se dan en la tubería debido al paso del agua, esta se da como producto del recorrido del agua en el tiempo, la tubería se vuelve rugosa y existe una carga por fricción:

Se puede calcular de varias maneras, si no se dispone de suficiente información, se utiliza el valor por defecto del 2 % de la longitud de la tubería, expresado como 0.02 (Campuzano y Campuzano, 2016).

$$\text{Carga por fricción} = [\text{Recorrido total tubería} * \text{factor de fricción}] \text{ m} \text{ (Ec. 7)}$$

- Ecuación de la carga dinámica total

$$\text{Carga dinámica} = [\text{carga por fricción} + \text{carga estática}] \quad \text{(Ec. 8)}$$

- Ecuación de la energía hidráulica

Energía necesaria para elevar volumen de agua a una cierta distancia:

$$\text{Energía hidráulica} = \left[ \frac{\text{volumen de agua} \left( \frac{\text{l}}{\text{dia}} \right) * \text{carga dinámica total} (\text{m})}{367 \frac{\text{l} * \text{m}}{\text{Wh}}} \right] \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \quad \text{(Ec. 9)}$$

El factor de conversión 367 nos sirve para calcular la energía en  $\frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$  necesaria para levantar un litro de agua a una distancia de un metro.

- Ecuación de la energía del arreglo fotovoltaico

Según Campuzano y Campuzano (2016):

Es energía hidráulica dividida por la eficiencia de la bomba, donde la eficiencia de la bomba es la relación entre la energía eléctrica convertida y la energía hidráulica. Los rendimientos diarios varían con altura dinámica total, insolación y el tipo de bomba, esta información está disponible en la placa de identificación del fabricante. (p. 14)

Si no tiene esta información, use la siguiente ecuación para calcular:

$$Energía\ AFV = \left[ \frac{Energía\ hidráulica\ \left(\frac{Wh}{día}\right)}{Eficiencia\ de\ la\ bomba} \right] \frac{Wh}{día} \quad (Ec. 9)$$

- Ecuación de la carga eléctrica

$$Carga\ eléctrica = \left[ \frac{Energía\ AFV\ \left(\frac{Wh}{día}\right)}{Voltaje\ nominal\ (V\ sistema)} \right] \frac{Amp\ h}{día} \quad (Ec. 10)$$

Donde el producto es la producción del arreglo fotovoltaico expresado en  $\frac{Amp\ h}{día}$ .

- Ecuación de la carga eléctrica corregida.

Esta es la carga eléctrica requerida después de tener en cuenta las pérdidas para cumplir con la carga diaria.

$$Carga\ eléctrica\ corregida = \left[ \frac{Carga\ eléctrica\ \frac{Amph}{día}}{Factor\ de\ rendimiento} \right] \frac{Amph}{día} \quad (Ec. 11)$$

- Ecuación de la corriente del proyecto

Esta ecuación muestra la corriente requerida para satisfacer la carga del sistema más importante del diseño.

$$Corriente\ del\ proyecto = \left[ \frac{Carga\ eléctrica\ corregida\ \left(\frac{Amph}{día}\right)}{Insolación\ \frac{KWh_{pico}}{m^2\ día}} \right] Amperios \quad (Ec. 12)$$

Consiste en la división de la carga eléctrica corregida entre el mes de insolación más crítico o el mes de diseño (Campuzano y Campuzano, 2016).

- Ecuación de la corriente ajustada del proyecto

Esta ecuación corresponde a la corriente mínima del arreglo necesaria para activar el sistema de bombeo a partir de la operación de la corriente del proyecto entre el factor de reducción del módulo. Los módulos fotovoltaicos pierden eficiencia debido a las condiciones de trabajo en el campo. Esto se debe al efecto de temperatura, degradación con el tiempo, polvo en la superficie, cargas desiguales y algunas condiciones más. Suponga un 95 % de eficiencia en los módulos cristalinos y un 70 % en módulos amorfos. (Campuzano y Campuzano, 2016, p. 20)

$$Corriente\ del\ proyecto\ ajustada = \left[ \frac{Corriente\ del\ proyecto\ (A)}{factor\ de\ reducción\ del\ módulo} \right] Amperios \quad (Ec. 13)$$

- Ecuación de módulos en paralelo.

Esta ecuación muestra el número de módulos conectados en paralelo. Es muy importante. Si el valor encontrado no es un número entero, anote inmediatamente el número entero más grande. Otra opción es buscar otro módulo. con diferente  $I_{mp}$  (Campuzano y Campuzano, 2016).

Donde  $I_{mp}$  es la corriente a máxima potencia proporcionada por el fabricante del módulo fotovoltaico.

$$\text{Módulos en paralelo} = \frac{\text{Corriente ajustada del proyecto (A)}}{\text{Corriente } I_{mp} \text{ del módulo (A)}} \quad (\text{Ec. 14})$$

Cabe mencionar que este es un valor numérico que nos proporcionará el número de paneles a conectar en paralelo.

- Ecuación de los módulos en serie.

Esta ecuación nos da como resultado el número de módulos conectados en serie necesarios para producir la tensión del sistema. Muy importante si el valor encontrado no es un número entero, anote el número entero inmediato superior (Campuzano y Campuzano, 2016).

Consiste en la división del voltaje nominal del sistema entre el voltaje  $V_{mp}$  del módulo de la información del fabricante.

$$\text{Módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje nominal del sistema (V)}}{\text{Voltaje } V_{mp} \text{ del módulo (V)}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Cabe mencionar que este es un valor numérico que nos proporcionará el número de paneles a conectar en serie.

- Ecuación del número total de módulos fotovoltaicos.

Este es el producto de la cantidad de módulos conectados en paralelo y la cantidad de módulos conectados en serie. Los valores de los módulos paralelos, así como las filas, son números enteros (Campuzano y Campuzano, 2016).

$$\text{Total módulos fotovoltaicos} = \text{módulos en serie} * \text{módulos en paralelo} \text{ (Ec. 16)}$$

- Ecuación del tamaño del arreglo.

Esta ecuación nos da como resultado la potencia del arreglo fotovoltaico a partir del producto de total de módulos por corriente  $I_{mp}$  del módulo por voltaje  $V_{mp}$  del módulo (Campuzano y Campuzano, 2016).

$$\text{Tamaño del arreglo fotovoltaico} = [\text{total de módulos} * I_{mp} * V_{mp}] \text{Watts (Ec. 17)}$$

- Ecuación del agua bombeada.

Los resultados de esta ecuación muestran cuántos litros de agua se bombean por día.

$$\text{Agua/día} = [\text{módulos paralelo} * I_{mp} * V_{nominal} * \text{factor rendimiento} * \text{factor conversión} * \text{insolación} * \text{factor de reducción módulos}] / (\text{carga dinámica total (m)}) \text{ litros/día} \quad \text{(Ec. 18)}$$

- Ecuación del régimen de bombeo.

Es la división del agua bombea entre la insolación del sitio, mes crítico.

$$\text{Régimen de bombeo} = \left[ \frac{\text{Volumen de agua } \left(\frac{l}{\text{día}}\right)}{\left(\text{Insolación} \frac{\text{KWh}_{\text{pico}}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right)} \right] \frac{\text{litros}}{\text{hora}} \quad (\text{Ec. 19})$$

“Todas las ecuaciones planteadas nos dan como producto el cálculo de la carga del bombeo de agua, así como el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico posteriormente denotados en tablas en la metodología” (Campuzano y Campuzano, 2016, p. 40).

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estudios previos (recientes)

1.2. Antecedentes

### 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Capítulo 1: factibilidad técnica y económica

2.1.1. Factibilidad técnica

2.1.2. Factibilidad económica

2.2. Capítulo 2: energía fotovoltaica

2.2.1 Radiación solar

2.2.2 Piranómetro

2.2.3 Irradiación e insolación

2.2.4 Efecto fotovoltaico

2.2.5 Celdas fotovoltaicas



2.2.6 Paneles solares

2.3. Capítulo 3: bombeo fotovoltaico

2.3.1 Funcionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico

2.3.2 Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico

2.3.3 Condiciones Hidráulicas

2.3.4 Ecuaciones para el cálculo del bombeo fotovoltaico

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipos de estudio de investigación

3.2. Fases de la investigación

3.2.1. Fase 1

3.2.2. Fase 2

3.2.3. Fase 3

3.2.4. Fase 4

3.2.5. Fase 5

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Tipos de estudio de investigación**

El estudio del presente trabajo es una investigación no experimental, ya que las variables no serán manipuladas y los datos serán recolectados por el investigador en las instituciones encargadas de recolectar las mediciones de las variables de interés o en todo caso se obtendrán los datos de manera directa para su estudio con un equipo de medición, en este caso un piranómetro.

### **9.2. Unidades de análisis**

Tendrá como variables discretas y continuas, siendo un estudio cuantitativo. Por un lado, también será descriptiva ya que se estarán recopilando valores tanto de radiación, insolación, así como de volumen de agua consumida para obtener promedios que nos indiquen la rentabilidad del proyecto, así como también la capacidad del tanque y su tiempo de llenado. Por otro lado, será correlacional ya que se estarán relacionando variables que a continuación se enlistan:

### **9.3. Variables**

- Ubicación del lugar
- Indicador: latitud, longitud, distancia, profundidad
- Radiación solar
  - Insolación día/mes/año

- Potencia paneles solares
- Indicador:  $W/m^2$  (Watts por metro cuadrado de radiación solar)
  
- Análisis financiero
  - Indicador: TIR (tasa interna de retorno).
  - Indicador: VAN (valor presente neto).
  - Indicador: B/C (relación beneficio/costo).

#### **9.4. Fases de la investigación**

A continuación, se presentan las fases de la investigación.

##### **9.4.1. Fase 1: revisión bibliográfica**

En esta primera fase del protocolo es necesario profundizar la investigación y para ello se desarrollarán todos los temas relacionados a la investigación, los cuales serán fundamentales para la fase de evaluación técnica y económica, entre los temas que se desarrollarán serán los siguientes:

- Energía fotovoltaica
- Sistema de bombeo fotovoltaico
- Indicadores financieros

##### **9.4.2. Fase 2: recopilación de datos de campo y documental**

Como segunda fase, se investigará todo lo relacionado al municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa y en entidades gubernamentales, así como uso de aparatos en todo caso si fuera necesario, recopilando la siguiente información:

- Ubicación
- Coordenadas
- Extensión territorial
- Altura sobre el nivel del mar
- Colindancias
- Condiciones atmosféricas
- Radiación solar
  - Insolación día/mes/año
  - Potencia paneles solares
- Consumo de agua diario, mensual, anual
- Consumo de energía eléctrica de los sistemas de extracción de agua de pozo
- Capacidad del tanque de agua
- Tiempo de llenado

#### **9.4.3. Fase 3: estudio de factibilidad técnico**

En esta fase de la investigación, se procederá a realizar los siguientes análisis de:

- Radiación
- Determinar el cálculo de bombeo de agua
- Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico
- Agua bombeada y régimen de bombeo

Recopilar base de datos sobre las radiaciones solares promedio para el sector con entidades gubernamentales o de otro modo tomar datos por medio de aparato específico (otros).

**Tabla 2.**

*Radiación promedio*

<b>Mes</b>	<b>Radiación solar W/m<sup>2</sup> (MEM)</b>	<b>Radiación solar W/m<sup>2</sup> (INSIVUMEH)</b>	<b>Radiación solar W/m<sup>2</sup> (Otros)</b>
<b>Enero</b>			
<b>Febrero</b>			
<b>Marzo</b>			
<b>Abril</b>			
<b>Mayo</b>			
<b>Junio</b>			
<b>Julio</b>			
<b>Agosto</b>			
<b>Septiembre</b>			
<b>Octubre</b>			
<b>Noviembre</b>			
<b>Diciembre</b>			

*Nota.* Cuadro para recopilación de datos. Elaboración propia, realizado con Word.

Evaluación de factibilidad técnica para todo el sistema de bombeo de agua (se determinará en base a la radiación, insolación y cálculos del bombeo fotovoltaico).

Las tablas a continuación son resultado de las ecuaciones planteadas en el marco teórico.

**Tabla 3.**

*Cálculo de bombeo de agua*

			Factor de conversión	l*m/Wh					
Volumen de Agua necesaria (m3)	Insolación del lugar	Régimen de bombeo	Factor de fricción						
				Voltaje Nominal					
				Eficiencia de Bomba					
				Factor de rendimiento del conductor					
Nivel estático (m)	Abatimiento (m)	Altura de descarga (m)	Carga estática (m)	Recorrido adicional tubería (m)	Recorrido total tubería (m)	Factor de fricción	Carga por fricción	Carga estática (m)	Carga dinámica total (m)
Volumen agua necesario/día (m3/día)	Carga dinámica total	Factor de conversión	Energía hidráulica (Wh/día)	Eficiencia de la bomba	Energía del arreglo FV (Wh/día)	Voltaje Nominal del sistema (24 V)	Carga eléctrica (Amph/día)		
			Carga eléctrica (Amph/día)	Factor rendimiento del conductor	Carga eléctrica corregida (Amph/día)	Insolación del lugar	Corriente del proyecto		

*Nota.* Bombeo de agua. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 4.***Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico*

<b>Información del módulo fotovoltaico</b>								
	Corriente del Proyecto (Amp)	Factor de reducción Módulo	Corriente Ajustada del Proyecto (Amp)	Corriente Imp del módulo (A)	Módulos en paralelo			
<b>Marca</b>								
<b>Modelo</b>								
<b>Vmp</b>								
<b>Imp</b>	Voltaje Nominal del sistema (V)	Voltaje Vmp del módulo (V)	Módulos en serie	Módulos en paralelo	Total de módulos	Corriente Imp del módulo (Amp)	Voltaje Vmp del módulo (V)	<b>Tamaño del arreglo FV (W)</b>
<b>Voc</b>								
<b>Isc</b>								
<b>Factor de reducción módulo</b>								
<b>Factor de rendimiento del sistema</b>								
<b>Inclinación del panel</b>								

*Nota.* Dimensiones del arreglo. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 5.**

*Agua bombeada y régimen de bombeo*

<b>Régimen de bombeo (l/día)</b>
<b>Carga dinámica total (m)</b>
<b>Energía hidráulica (Wh/día)</b>
<b>Energía del arreglo FV (Wh/día)</b>
<b>Corriente del proyecto (Amp)</b>
<b>Número total de módulos</b>
<b>Módulos en paralelo</b>
<b>Módulos en serie</b>
<b>Potencia del arreglo</b>
<b>Cantidad de agua bombeada</b>
<b>Régimen de bombeo (l/día)</b>

*Nota.* Cuadro para recopilación de datos. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 6.**

*Resumen de cálculos del sistema de bombeo fotovoltaico*

Régimen de bombeo (l/día)
Carga dinámica total (m)
Energía hidráulica (Wh/día)
Energía del arreglo FV (Wh/día)
Corriente del proyecto (Amp)
Número total de módulos
Módulos en paralelo
Módulos en serie
Potencia del arreglo
Cantidad de agua bombeada
Régimen de bombeo (l/día)

*Nota.* Resumen de cálculos. Elaboración propia, realizado con Word.



#### **9.4.4. Fase 4: estudio económico**

En esta fase de la investigación, se procederá a evaluar la factibilidad económica realizando los siguientes pasos:

- Evaluación económica apoyándose de los indicadores financieros TIR, VAN y costo beneficio
- Inversión inicial
- Costos operación y mantenimiento
- Tiempo de recuperación de la inversión
- Flujo de efectivo

#### **9.4.5. Fase 5: análisis e interpretación de resultados**

En esta última fase de la investigación, se hará el estudio de todas las fases anteriores y se interpretará las evaluaciones correspondientes, con el fin de dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el presente documento. Se realizará los siguientes pasos:

- Factibilidad técnica
- Factibilidad económica

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la evaluación técnica se hará uso de estadística descriptiva, utilizando promedios para la determinación de la radiación solar media, bombeos de agua apoyándose de gráficos y tablas. Estas serán variables dependientes.

Para ello se utilizará Microsoft Excel para la elaboración de tablas y gráficas para su posterior análisis.

Para solicitar esta información se deberá proceder con entidades gubernamentales de no ser así con apoyo de las comunidades se entenderá la información.

El equipo usado para medir radiación es el pirómetro, este nos indica las diferentes radiaciones que inciden en el lugar. Por otro lado, la información de capacidad de agua consumida por hogar y por comunidad se buscará por medio del COCODE o la municipalidad a cargo de esta información.

Para el análisis de la evaluación económica se hará el uso de matemática financiera, con el fin de poder llevar a cabo un estudio de la factibilidad económica del sistema de bombeo fotovoltaico. Se utilizará indicadores financieros como lo son los siguientes:

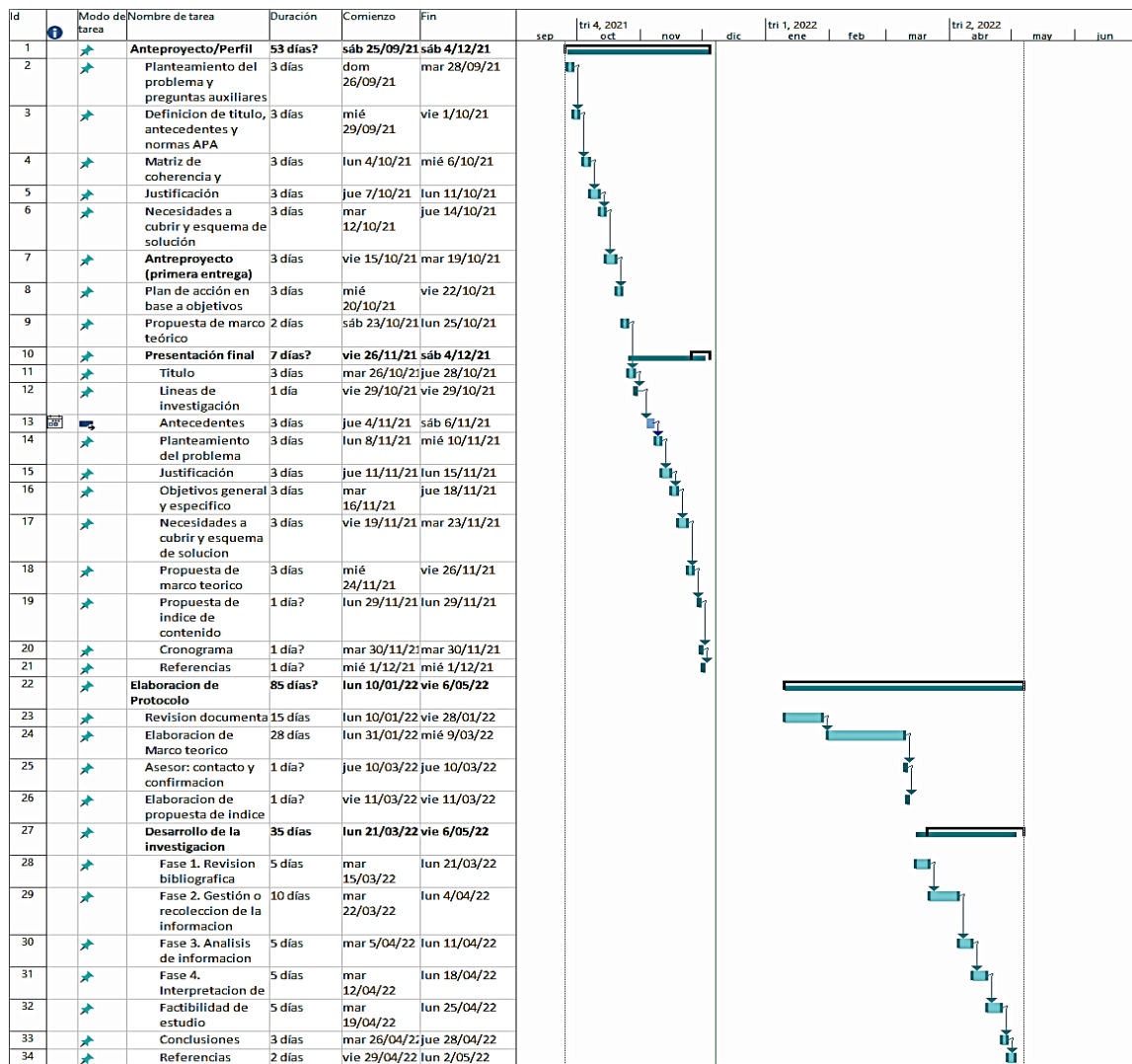
- TIR (tasa interna de retorno)
- VAN (valor presente neto)
- B/C (relación beneficio costo)



# 11. CRONOGRAMA

Tabla 7.

Cronograma de actividades



Nota. Cronograma de actividades. Elaboración propia, realizado con Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

En la siguiente tabla se muestran los diferentes recursos que se usarían para este diseño de investigación.

**Tabla 8.**

*Presupuesto propuesto*

No.	Recurso humano	Costo	Unidad	Monto
1	Asesor	AD HONOREM	1	Q. 1,500.00
	Estudiante		1	Q. 2,500.00
<b>Recurso financiero</b>				
2	Agenda	Q. 20.00	1	Q. 20.00
	Lapiceros	Q. 2.00	3	Q. 6.00
	Impresiones	Q. 150.00	1	Q. 150.00
	Otros	Q. 1,500.00	1	Q. 1,500.00
<b>Transporte</b>				
3	Gasolina	Q. 1,500.00	1	Q. 1,500.00
	Otros	Q. 200.00	1	Q. 200.00
<b>Permisos y visitas técnicas</b>				
4		Q. 700.00	1	Q. 700.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q.6,576.00</b>

*Nota.* Presupuesto del trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

Los costos que representa el trabajo de investigación son razonables, por lo que se considera que el trabajo de investigación es factible desde el punto de vista económico y también desde el punto de vista técnico, ya que no se requiere algún aspecto que esté fuera del alcance.



### 13. REFERENCIAS

- Abella, M. y Romero, F. (2009). *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. CIEMAT.
- Bayod, A. (2009). *Sistemas Fotovoltaicos*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Blas, D. (2011). *Instalación de paneles fotovoltaicos en Bosal S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad de Zaragoza]. Archivo digital. <https://zaguan.unizar.es/record/6217/files/TAZ-PFC-2011-392.pdf>
- Campuzano, L. y Campuzano, C. (2016). *Estudio de perfil de un sistema Fotovoltaico para Bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del Municipio de Dirimaba* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/1358/1/80750.pdf>
- Cardona, O. y Magzul, F. (17 de noviembre de 2011). *Energía Solar llega a Aldea*. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/ciudades/santa-rosa/energia-solar-llega-aldea-0-592740748/>
- Cruz, D. (2011). *Estudio del ahorro mediante bombeo solar*. Universidad Internacional de Andalucía. [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1807/0126\\_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1807/0126_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Del Pilar, K. L., y Ramírez, P. (6 de julio de 2008). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia*. Monografías.



<https://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2>

Ezpeleta, E. (2010). *Instalación de Bombeo Solar, Potabilización y Abastecimiento de Agua en comunidad indígena de Guatemala*. [Tesis de licenciatura, Universidad Pública de Navarra]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/2454/1781>

HelioEsfera. (10 de octubre de 2020). *Irradiancia, radiación y radiación solar*. HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/#:-:text=En%20general%2C%20al%20hablar%20sobre,por%20unidad%20de%20superficie%20respectivamente>

Marrodán, J. (2012). *Piranómetro Fotovoltaico*. [Tesis de licenciatura, Universidad Pública de Navarra]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/10850903.pdf>

Martínez, B. y Fuentes, J. (2016). Suministro de energía eléctrica con paneles solares individuales a la aldea Searranx, Livingston, Izabal. *Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado*, 8(1), 47-50.

Monteza, R. (2019). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico tipo aislado para bombear agua para uso agrícola en el caserío el Almendral ubicado en el distrito de Choros, Cutervo- Cajamarca*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Archivo digital. <file:///C:/Users/NOESU/Downloads/BC-4464%20MONTEZA%20MEGO.pdf>

- Orbegozo, C. y Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica, manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Green Energy.
- Ortiz, J. y Aldana, D. M. (del 11 al 15 noviembre, 2013). Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico. *XX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XX - SPES)*. Tacna, Perú.
- Quiroa, M. (04 de julio de 2020). *Estudio de factibilidad*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>
- Ramos, B. (2014). *Modelo del generador de un sistema de bombeo fotovoltaico*. [Tesis de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/reader/44310250>
- Rasero, C. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Escuela de Organización Industrial.
- Rus, E. (1 de septiembre de 2020). *Factibilidad técnica*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/factibilidad-tecnica.html#:~:text=La%20factibilidad%20t%C3%A9cnica%20determina%20si,m%C3%A9todos%20involucrados%20en%20un%20proyecto>
- Salmerón, D. y Blandón, J. (2014). *Estudio de preinversión de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio de Jinotepe*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/1458/1/60102.pdf>
- Sanchez, A. (s.f.). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. Sandia National Laboratories.

SENSOVANT. (2 de febrero de 2022). *Piranómetro de Primera Clase (A)*. SV.  
<https://sensovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/piranometro-de-primera-clase-a/>

Vega, J. (2008). *Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo para el edificio sostenible del Instituto de Ingeniería de la UNAM*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Archivo digital.  
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9537>