



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

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y
CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO
SOLAR FOTOVOLTAICO, APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**

Andrea Carolina García Vielman

Asesorado por el Msc. Ana Lucía Martínez Arriola

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y
CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO
SOLAR FOTOVOLTAICO, APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDREA CAROLINA GARCÍA VIELMAN

ASESORADO POR MSC. ING. ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir 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. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Sitavi Cos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y
CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO
SOLAR FOTOVOLTAICO, APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 15 de octubre de 2022.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a circular scribble. The signature reads "Andrea García Vielman".

Andrea Carolina García Vielman



EEPFI-PP-2117-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
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 INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Diseño - Diseño y operación de proyectos Solares y Eólicos - Principios de energía fotovoltaica**, presentado por la estudiante **Andrea Carolina García Vielman** carné número **201800697**, 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"

Inga. Ana Lucía Martínez Arriola
Maestra en Gestión de Mercados
Eléctricos Regulados
Col. 15072

Mtra. Ana Lucía Martínez Arriola
Asesor(a)

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



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





EPP-EIME-1727-2022

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 INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Andrea Carolina García Vielman**, 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

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

Guatemala, noviembre de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.181.2023

La Decana 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 INVESTIGACION DE PROPUESTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO, APLICADO A ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**, presentado por: **Andrea Carolina García Vielman**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada

Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, fuerza y sabiduría necesaria para culminar mi carrera; por llenarme de bendiciones y nunca abandonarme.
- Mis padres** Dulfan Juan José García García y Lesly Carolina Vielman Sandoval, por sus sacrificios y apoyo incondicional que me permitieron llegar hasta aquí.
- Mis hermanos** Juan José, Ruth Nataly y Miguel Andres, por estar siempre a mi lado y apoyarme y ser la motivación que me ayuda a seguir.
- Mi abuela** Humbelina García, por su gran ejemplo de aprendizaje continuo y por el amor que siempre me demuestra.
- Mis amigos** Antonio Sagastume, Josué Veliz, Luis Castillo, Karen Ixcoy, Diego Elías, Carlos Rosales, José Echeverría, Joyce Berganza, Ricardo Miyares, Pedro Alfaro, Rodrigo Mancilla, Carlos de León y a todas las personas que me apoyaron durante la carrera y siempre creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Casa de estudios que me abrió las puertas para formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para que pueda ejercer una carrera profesional.
Mis amigos de la facultad	Por todas las buenas experiencias que vivimos y por su apoyo incondicional.
Mi asesor de trabajo de graduación	Por su apoyo y tiempo que dedicó a mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Formulación del problema	10
3.3. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
6.1. Esquema de solución	18
7. MARCO TEÓRICO	21
7.1. Abastecimiento de agua	21

7.1.1.	Disponibilidad de agua en las áreas rurales de Guatemala.....	21
7.2.	Fuentes de recolección de agua para el hogar	22
7.2.1.	Chorro público	22
7.2.2.	Río, lago, manantial, camión cisterna o tonel	22
7.2.3.	Pozo perforado público o privado	23
7.2.4.	Tubería dentro de la vivienda	23
7.3.	Acceso a electricidad en áreas rurales.....	23
7.3.1.	Servicio eléctrico	23
7.4.	Oportunidades y beneficios de servicio de agua en las comunidades.....	24
7.4.1.	Beneficios en la salud.....	24
7.4.2.	Oportunidades de desarrollo en agricultura y ganadería	25
7.4.3.	Mejoras en las condiciones de vida.....	25
7.5.	Bombeo solar	26
7.5.1.	Pozo	26
7.5.2.	Requerimientos de agua dependiendo del proyecto.....	28
7.5.3.	Términos hidráulicos	28
7.6.	Presión estática y dinámica.....	31
7.7.	Carga por fricción o las caídas de presión	32
7.8.	Motores eléctricos	32
7.9.	Bomba de agua	33
7.10.	Criterio para la selección de bombas	34
7.11.	Paneles solares.....	36
7.11.1.	La luz solar	36
7.11.2.	Irradiancia e insolación.....	36
7.11.3.	Efectos de atenuación	37

7.11.4.	Radiación directa, difusa y global	37
7.11.5.	Trayectoria solar y sombras.....	38
7.11.6.	Celdas y módulos fotovoltaicos	38
7.12.	Ventajas de la energía solar sobre combustibles fósiles	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
9.	METODOLOGÍA.....	45
9.1.	Características de estudio	45
9.2.	Unidades de análisis.....	46
9.3.	Variables.....	48
9.3.1.	Fase uno: recopilación bibliográfica.....	48
9.3.2.	Fase dos: análisis de datos recopilados	49
9.3.3.	Fase tres: diseño de sistema de bombeo alimentado por energía solar	50
9.3.4.	Fase cuatro: propuesta económica de inversión	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	51
10.1.	Diagnóstico de las necesidades de consumo de población.....	51
11.	CRONOGRAMA.....	55
11.1.	Cronograma.....	55
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
12.1.	Permisos y autorizaciones.....	57
12.2.	Recurso financiero.....	57
13.	REFERENCIAS.....	59

14. APÉNDICES	63
---------------------	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de problema	10
2.	Curvas características de una bomba	35
3.	Cronograma de actividades.....	56

TABLAS

I.	Variables de estudio.....	47
II.	Información mínima para el diseño	48
III.	Datos de consumo animal.....	51
IV.	Datos de consumo agrícola.....	52
V.	Datos de consumo humano	53
VI.	Presupuesto para el desarrollo de la investigación	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
HP	Caballos de fuerza
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
EP	Energía potencial
FV	Fotovoltaico
°	Grados
°C	Grados Celsius
g	Gravedad
Hz	Hertz
m	Metros
N	Newtons
Pa	Pascal
Q	Quetzales
V	Voltios
W	Watts
W/m²	Watts por metro cuadrado

GLOSARIO

Ángulo de inclinación	Ángulo sobre el horizonte al que están inclinados los paneles solares fotovoltaicos, para captar los rayos del sol.
Batería	Un dispositivo que almacena energía eléctrica.
Captador solar	Es cualquier objeto que recibe los rayos del sol.
Carga hidráulica	Es la distancia que se debe elevar el agua, medida en metros.
Efecto fotovoltaico	Generación de potencia eléctrica en un dispositivo debido a la absorción de luz.
Eficiencia	Es la razón entre la potencia entregada por un dispositivo respecto de la potencia suministrada.
Hectárea	Unidad de superficie equivalente a 10 000 metros cuadrados.
Insolación	Es la irradiancia acumulada en la unidad de tiempo.
Inversor	Un mecanismo que convierte la corriente eléctrica directa en una corriente alterna (de CD a CA).

Irradiancia	Es la potencia de la radiación luminosa o de la luz solar recibida en una superficie de área unitaria. Esta se mide en W/m^2 .
Motor eléctrico	Es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, y recíprocamente.
Noria	Agujero en la superficie terrestre excavado a mano para encontrar mantos friáticos, del orden de un metro de diámetro por varios de profundidad, que sirve como sistema de almacenamiento.
Valor actual neto (VNA)	Valor presente después de que se hayan hecho las deducciones del caso o se hayan tomado en cuenta las pérdidas.

RESUMEN

Se presenta la recopilación de información para comenzar con la investigación enfocada en una propuesta para el diseño y cálculo de un sistema de abastecimiento de agua, por medio de bombeo, el cual será alimentado mediante tecnología solar fotovoltaica, aplicada en las áreas rurales de Guatemala. La tecnología de generación de electricidad mediante paneles fotovoltaicos, aplicada al bombeo de agua, es una solución innovadora que presenta una alternativa a las tecnologías que utilizan combustibles fósiles, para la generación de energía. Existen muchos aspectos a considerar, pero en general es una buena opción de inversión, ya que los costos de mantenimiento son casi nulos y es una opción amigable con el ambiente.

El principal factor que influye en aplicar este tipo de proyectos en las comunidades rurales, es el hecho de que en la mayoría de los casos no se cuenta con una instalación de servicio de agua. Debido a esto, las comunidades recurren a transportar agua de otras fuentes, lo que limita el desarrollo económico que podría tenerse si se mejoran los sistemas de riego en cultivos y de suministro de agua para consumo animal. Además, mejorar las condiciones de higiene y disminuir las enfermedades que conlleva una mala calidad de agua.

1. INTRODUCCIÓN

El bombeo solar es un sistema que se basa en el uso de la tecnología fotovoltaica para la extracción de agua por medio de bombas. Estos sistemas presentan muchos beneficios económicos y ayudan al medio ambiente, en especial para comunidades rurales en donde existe la necesidad de extraer agua para las distintas actividades de agricultura, ganadería y consumo humano. El sistema de energía fotovoltaica no es la única opción para alimentar las bombas, pero en muchos casos es la mejor opción.

Existen otras alternativas como el uso de combustibles fósiles empleados para generación de energía, tal es el caso del uso de generadores diésel, pero los costos de mantenimiento de estos son muy elevados en comparación con los sistemas de generación fotovoltaica, los cuales requieren de una única inversión inicial y presentan bajos costos de mantenimiento.

Debido a las necesidades de las regiones rurales del país donde no cuentan con un sistema de tubería instalado, en este trabajo se propone una manera simple y eficiente de dimensionar y calcular el sistema de abastecimiento de agua por medio de bombeo solar fotovoltaico. Basado en las condiciones del área donde se desee implementar el sistema, tomando en cuenta parámetros importantes como las necesidades de la población, el pozo, el recurso solar disponible y el lugar al que se quiere transportar el agua.

El agua es un recurso importante que trae consigo muchas oportunidades; si se aprovecha de una forma efectiva puede beneficiar el crecimiento económico en el área rural de Guatemala. Esto se puede lograr con la optimización de los

sistemas de abastecimiento de agua necesarios para los cultivos y el ganado, mejorando también la calidad de vida por medio de un suministro de agua constante, que permita tener mejores condiciones de higiene.

2. ANTECEDENTES

Actualmente los sistemas de bombeo alimentados por energía solar son útiles en lugares remotos, donde no se cuenta con acceso a otro tipo de energía, por ejemplo, la eléctrica. Los bajos costos de mantenimiento y con un tiempo de vida muy largo, los sistemas de bombeo alimentados por energía solar son una opción cada vez más viable. Una de las desventajas de estos, es que los costos de inversión iniciales de un sistema de bombeo, alimentado por energía solar, son más altos que los de un sistema alimentado por energía eléctrica o bien por hidrocarburos. Por otra parte, son muy bajos los costos operativos durante el tiempo de funcionamiento del sistema instalado.

Al considerar tiempo de recuperación de la inversión de un sistema de bombeo, alimentado por energía solar, este puede llegar a ser de al menos dos años, lo que hace que estos sistemas sean particularmente atractivos en comparación con los que funcionan con hidrocarburos.

La principal limitación que existe para los sistemas de bombeo alimentado por energía solar, es que su funcionamiento se rige dependiendo de la cantidad de luz solar disponible. El bombeo está limitado a ciertas horas del día, por lo que la demanda de agua debe satisfacerse en un limitado periodo de tiempo del día. La duración del bombeo diario de estos sistemas puede ser de cuatro a seis horas por día, lo cual puede variar dependiendo de la estación del año en que se encuentre funcionando.

La ubicación y la disposición geográfica del sitio determinarán en última instancia la cantidad la luz solar disponible y la cantidad de tiempo que se requiera el bombeo. En el caso en que la duración del bombeo no es factible debido a la capacidad limitada de la fuente de agua, o bien, al no contar con acceso a energía eléctrica, se debe considerar una instalación de bombeo híbrido. Esto por medio de un sistema de energía solar combinado con un sistema de bombeo accionado por motores eléctricos.

Por último, se requiere un espacio adecuado según las indicaciones de los fabricantes para ubicar los paneles solares. Idealmente, los paneles, una unidad de almacenamiento para la energía generada y una unidad inversora de corriente deben ubicarse lo más cerca posible de la bomba, para evitar extensos tendidos de cableado y reducir las pérdidas relacionadas con este. El área debe estar libre de árboles y estructuras que puedan dar sombra a los paneles. Debido a estas condiciones de instalación, se opta por ubicarlos en techos de estructuras ya existentes, para evitar un reacondicionamiento del lugar de instalación de las celdas fotovoltaicas.

Debido a su gran potencial para el uso en la industria agrícola, las bombas de agua solares impulsan cada vez más proyectos agrícolas. Como afirma el INE (2020): “el 40 % de la población mundial depende de la agricultura como su principal fuente de ingresos” (p. 97); por esa razón, el acceso al agua sigue siendo una lucha constante para muchas personas. Esto es lo que la energía solar pretende cambiar y proporcionar un futuro rentable para muchos pequeños agricultores en todo el mundo.

Los sistemas solares de bombeo de agua, para aplicaciones de bombeo solar de agua, por otro lado, se clasifican como:

- Sistemas de corriente continua (CC)
- Sistemas de corriente alterna (CA) según la capacidad del motor.
- Sistemas de motores CC sin escobillas (BLDC), para aplicaciones de bombeo solar de agua.

El punto de vista principal, relacionado con la eficiencia de una instalación de bombeo de agua accionado por energía solar, se basa en tres variables que son: fuerza, caudal y potencia demandada por la bomba. Uno de los aspectos que le dan relevancia a la aplicación de bombas, alimentadas mediante energía solar, es que son ideales para áreas con difícil acceso.

El costo es la principal desventaja de usar una bomba de riego con energía solar en la agricultura (inversión inicial). Existe una diferencia notable al comparar la implementación de una bomba de agua, alimentada mediante energía solar, para uso residencial y una bomba para una instalación de actividades agrícolas. Con los diferentes tipos de aplicación, potencias de bombas e instalación se tienen diferentes costos. En el mercado se pueden encontrar modelos tanto de bajo como de alto costo, sin embargo, es alto el costo promedio de las bombas de agua alimentadas con energía solar si se compara con una instalación de bombeo convencional, considerando que el fin de estas instalaciones es para un riego constante. En la mayoría de las ocasiones, al hacer una comparación con los costos de instalaciones accionadas mediante hidrocarburos y otros tipos de energía, la que encabeza la lista como opción más viable a largo plazo son los sistemas de bombeo alimentados por energía solar.

Los paneles solares se utilizan en una variedad de necesidades. Se puede decir, que cualquier sistema que necesite energía eléctrica para funcionar puede ser alimentado con paneles solares. Además, también depende de la instalación y potencia de los paneles solares, ya que varían desde pequeñas linternas hasta

grandes centrales eléctricas elaboradas. Toda la instalación de bombeo alimentado por energía solar incluye los paneles, estructura de soporte con mecanismo de seguimiento para las fotoceldas, partes electrónicas de regulación, cables, tuberías y la propia bomba.

El costo de las instalaciones alimentadas con energía solar se ha reducido, mientras el costo del diésel ha aumentado regularmente. Como expone DESIGNA (2022): “el costo de la energía generada mediante la irradiación del sol es mucho menor que el diésel, el costo de la energía solar fotovoltaica será la mitad del diésel dentro de tres o cuatro años” (p. 25).

Las bombas de agua solares se consideran una tecnología costosa, que no puede bombear suficiente agua y que no es duradera. Sin embargo, las bombas de agua solares han recorrido un largo camino en 25 años y hoy en día existen bombas solares en el mercado que han mejorado la tecnología anterior. Por ejemplo, Optimize Puming Systems (2014) explica que: “hay bombas sumergibles que pueden bombear hasta 200 m de altura; bombas que sean capaces de bombear mayores volúmenes de agua, 100 m, unos 10 000 L/día; 50 m, unos 20 000 L/día” (p. 108). El rendimiento anterior se puede duplicar a través de sistemas duales.

Este sistema es una solución fácil de implementar y amigable con el medio ambiente, en especial para el riego que se implementa en la industria agrícola. Se encontró que el sistema fue exitoso cuando se implementó para perforaciones en las que no era necesario el bombeo durante todo el día. Las bombas solares también ofrecen soluciones limpias sin peligro de contaminación del pozo. El sistema requiere mantenimiento y atención mínimos, ya que son de arranque automático, y es posible automatizar la forma de riego con los requerimientos de cada tipo de cosecha en la industria agrícola.

Los diseños independientes también son útiles en áreas urbanas. Los sistemas fotovoltaicos comúnmente se componen de un panel o matriz fotovoltaica que genera electricidad de corriente continua (CC), que luego se almacena en baterías. Cuando se encuentra alguna demanda al sistema se invierte en corriente alterna (CA) mediante un inversor de corriente y se alimenta a una carga de corriente alterna (CA).

Los sistemas fotovoltaicos podrían vincularse con otras fuentes de energía renovables o no renovables, como el viento o bien, sistemas accionados por motores de combustión interna. La combinación anterior se conoce como sistemas fotovoltaicos híbridos. La adición de unidades de almacenamiento (baterías) permite el uso posterior de la energía generada por el panel fotovoltaico. Esto debe ir acompañado de un controlador de cargador, que es un sistema electrónico que gobierna la carga de las unidades de almacenamiento.

La implementación de unidades de batería sigue siendo una opción, ya sea para suministrar electricidad directamente a la bomba de agua o bien para prescindir de ellas, para evitar altos costos y mantenimiento, o implementar baterías; si es necesario utilizar el sistema de bombeo en horarios en los cuales no está generando el panel.

En cuanto al tamaño del sistema fotovoltaico, los valores necesarios para el cálculo son: la irradiancia solar diaria, el área y la eficiencia fotovoltaica, la eficiencia del inversor y la eficiencia del sistema transmisión. Se utilizan cuatro criterios para evaluar la viabilidad del sistema en términos de aspectos técnicos y económicos. A continuación, se presenta lo que exponen los expertos en el tema:

En los criterios técnicos se tienen el Factor de capacidad (CF) y Factor de rendimiento (YF); en los criterios económicos están el Período de recuperación (PBP) y Costo de energía (CoE) CF y YF se utilizan para evaluar la productividad SWPS y PBP. CoE evalúa la viabilidad económica. Cualquier diferencia de elevación entre la fuente de agua y el destino final afectará la fuerza de la bomba o la presión que la bomba debe generar para crear un caudal que cumpla con las necesidades del sistema de bombeo. Para ser exactos, una bomba debe crear 0,433 psi por cada pie de aumento de elevación. Cuando el agua fluye cuesta abajo, se obtienen los mismos 0,433 psi por pie de cambio de elevación (Optimize Pumping Systems, 2014, p. 36).

Si existe mucha topografía y el agua fluye hacia arriba, hacia abajo y alrededor, la diferencia de elevación entre la superficie del agua en la fuente y el nivel de descarga en el destino es la cifra clave que se debe usar para diseñar un sistema en términos de cuánta presión necesita producir la bomba. El diámetro, la longitud, las curvas y las restricciones de las tuberías, como las válvulas también afectan la cantidad de presión que se pierde y que debe considerar una bomba para que fluya correctamente el agua.

Cada bomba de agua solar puede producir una variedad de flujos y presiones. Las bombas solares consumen una cierta cantidad de energía de acuerdo con la cantidad de presión que se necesita producir para entregar el agua. La potencia se expresa en vatios y los paneles fotovoltaicos se clasifican en vatios. Al dimensionar una matriz de paneles fotovoltaicos, tiene sentido suministrar la cantidad de energía que se necesita.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

Guatemala es un país en el cual gran parte de su población vive y realiza actividades económicas en el área rural. En algunos casos lamentablemente existen poblaciones alejadas de los lugares donde se encuentra instalada la infraestructura para distribuir el servicio de agua. Como en cada proyecto, un aspecto importante es comprobar su factibilidad previo a la implementación. Sin embargo, en algunos casos no es factible instalar infraestructura para proveer agua a estos lugares, ya que los costos serían mucho mayores a lo que se podría recuperar.

La falta de agua apta para el consumo humano y animal trae grandes consecuencias en varios aspectos como la salud y el desarrollo de dicha población, y esta es la realidad de muchas personas en Guatemala. Una de las mayores consecuencias que se podría mencionar es la salud de las personas; dentro de las enfermedades de transmisión hídrica se consideran todas aquellas que son consecuencia del consumo voluntario o accidental de agua contaminada o debido a la exposición directa a aguas contaminadas con materia fecal (en muchos casos, las lluvias arrastran materia fecal de personas o animales enfermos hacia las fuentes de agua). Además, la disponibilidad y calidad de agua es otro determinante del contagio y propagación de cualquier enfermedad.

Figura 1. **Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Power Point 2019.

3.2. **Formulación del problema**

Según el último censo levantado en 2018, “solo el 58.9% de la población tienen tubería de agua dentro de la vivienda, el resto de las personas tienen otros medios para conseguir agua” (INE, 2018, p. 5). Pero, continuando con la problemática, muchas veces el agua no es de la calidad necesaria para ser segura, ya que un buen porcentaje la obtienen de ríos, lagos o manantiales donde también llegan desechos humanos y otros contaminantes.

El agua puede afectar en muchos aspectos una población y uno de ellos es el desarrollo como explica el INE (2018):

Aproximadamente un 47 % de la población habita en el área rural, en su mayoría la principal actividad económica es la agricultura y ganadería, para este tipo de actividades el servicio de agua para el consumo de agua animal y riego de siembras es primordial. (p. 20)

Muchas veces los lugares están demasiado retirados de la instalación pública de servicio de agua. Por estas razones la implementación de sistemas de bombeo alimentado por energía solar en estos casos es lo más factible, básicamente brinda la oportunidad de proporcionar agua a alguna comunidad alejada, centro médico o escuela que no cuente con este recurso a un precio razonable.

Estas regiones se encuentran alejadas por lo que, al no contar con acceso a la red eléctrica, los paneles solares presentan una solución a esta problemática. Sin embargo, existen otras tecnologías como el uso de combustibles fósiles para la alimentación del sistema de bombeo, pero estas tienden a tener un costo elevado de mantenimiento y combustible. Además, el sistema instalado con paneles solares tiene un costo elevado de instalación, pero el costo de mantenimiento es bajo.

Estos sistemas actualmente ya se están implementando en algunos lugares, sin embargo, en ocasiones puede ser complicado elegir cual es el sistema ideal, dependiendo del tipo de necesidades de la población que va a utilizar y el consumo que se tendrá.

Con este trabajo se pretenden establecer los beneficios, parámetros y cálculos necesarios para diseñar sistemas de bombeo, alimentado por energía solar, que podrán ser instalados en las poblaciones con necesidad de mantener un suministro constante de agua para sus siembras o ganado.

- **Pregunta central**
 - ¿Cómo iniciar la implementación de sistemas de bombeo alimentados por energía solar en las comunidades de áreas rurales en Guatemala?

- **Preguntas auxiliares**
 - ¿En qué beneficia a la población del área rural la implementación de sistemas de bombeo alimentados por energía solar?

 - ¿Qué se debe de considerar al momento de diseñar un sistema de bombeo de agua alimentado por energía solar, diseñado para operar en el área rural de Guatemala?

 - ¿Cuál sería el plan de implementación de sistemas de bombeo alimentados por energía solar para el área rural de Guatemala?

3.3. Delimitación del problema

Las comunidades rurales en Guatemala desconocen las alternativas de sistemas de bombeos que no sean los convencionales. Debido a que en general las bombas son accionadas por motores de combustión interna o bien son alimentados por la red eléctrica, en caso tengan acceso a ella. Con una metodología adecuada y capacitaciones en las áreas rurales de Guatemala, se espera que las comunidades rurales puedan implementar estos sistemas para mejorar sus condiciones de vida.

4. JUSTIFICACIÓN

Lo que se pretende lograr con este trabajo de investigación, es brindar una propuesta para el cálculo y diseño de sistemas de bombeo alimentado por energía solar, principalmente en el área rural. Esto conlleva beneficios en muchos aspectos, ya que en algunas regiones donde no es rentable instalar el servicio público de agua se presentan problemáticas como enfermedades por la falta de higiene, así como una pérdida de oportunidades, debido a la falta de un suministro constante de agua para riego de cultivos o alimentación del ganado.

Existen otras alternativas, como el uso de combustibles fósiles, con las que es posible generar la energía necesaria para la alimentación de la bomba, pero estas, aunque al inicio la inversión es baja, los costos de mantenimiento son elevados. Debido a esto, en la actualidad la opción de utilizar tecnología fotovoltaica para suministrar de energía a la bomba sumergible en estas condiciones, es la mejor.

En ocasiones, el proceso de diseño es complicado para determinar las dimensiones de acuerdo con las necesidades del sitio. Por esta razón la propuesta para el diseño y cálculo es una solución para las personas de granjas, pequeñas comunidades o cualquier centro social que deseen implementar esta tecnología, debido a que es una de las mejores soluciones para la falta de agua. No solo brinda una solución a menor costo que los combustibles fósiles, sino que es una solución amigable con el planeta, ya que requiere bajo mantenimiento y gracias a esta propuesta se facilita el proceso de dimensionar y diseñar adecuadamente, brindando oportunidades de desarrollo a la comunidad.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer una metodología para el diseño y cálculo para sistemas de bombeo, alimentados por energía solar en áreas rurales de Guatemala.

5.2. Específicos

- Evaluar la cobertura que tienen actualmente las comunidades rurales de Guatemala de los servicios de energía eléctrica y agua potable.
- Diseñar una guía para la implementación de un sistema de bombeo alimentado por energía solar, identificando cada uno de los elementos que lo conforman.
- Cuantificar los costos de implementación y mantenimiento de un sistema de bombeo alimentado por energía solar, en comparación con un sistema de generación por medio de combustibles fósiles.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En este diseño de investigación se tiene como objetivo identificar si la propuesta para el diseño y cálculo de un sistema de abastecimiento de agua, por medio de bombeo solar fotovoltaico para comunidades rurales de Guatemala, es suficiente para cumplir con las demandas de agua entubada que una comunidad necesita. De manera que se brinden beneficios para lograr una implementación aceptable y adecuada para sus necesidades.

Esta propuesta busca ser un impulsor para estudios y diseños de esta índole en el país y Centroamérica, logrando ser un punto de inflexión para las nuevas tecnologías que pueden ser implementadas en dichos proyectos. Además, estos deben cumplir los requerimientos de las diversas comunidades del país. Así, es posible el mejoramiento de las condiciones de vida de la población involucrada en estas clases de proyectos.

En esta metodología es necesario elaborar un estudio previo en la comunidad sobre los niveles del pozo en cuestión, para el cálculo y determinación de la bomba necesaria. Luego, conversar con la comunidad para definir la cantidad de agua diaria que necesitan. Posteriormente, se debe desarrollar un estudio sobre la irradiancia en el lugar con lo que será posible la determinación de las horas de bombeo y llenado de los tanques. Asimismo, la cantidad de paneles solares a implementar para la bomba de agua. Por último, se debe ejecutar un estudio de la eficiencia del proyecto en la comunidad.

Es un proyecto original debido a que esta tecnología cuenta actualmente con poco auge en Guatemala. Son limitadas las comunidades que han decidido optar por esta clase de tecnología, a pesar de sus limitantes, por el hecho de que depende del sol. No obstante, es una solución económica ante los problemas actuales de las comunidades en Guatemala ya que facilita el acceso a las oportunidades.

Además, se cuenta con una relación muy fuerte con la Maestría en Energía y Ambiente, debido a la implementación de tecnologías que estén en sintonía con el medio ambiente. Logrando la protección de este ante la reducción de gases de efecto invernadero. De igual manera, la energía renovable se debe tomar en cuenta para la resolución de diversos problemas que se tienen en la actualidad.

Derivado de que se cuenta con información variada en diferentes fuentes, y al ser una profesional con conocimientos en ingeniería eléctrica, este proyecto combina los temas de energía y aprovechamiento solares fotovoltaicos. Logrando una propuesta para el diseño y cálculo de un sistema de abastecimiento de agua, por medio de bombeo solar fotovoltaico para comunidades rurales de Guatemala.

6.1. Esquema de solución

En el proyecto se crea una propuesta para el cálculo y diseño de sistemas de bombeo alimentado por energía solar en áreas rurales, ya que en el país se percibe la necesidad en algunos sectores, donde lamentablemente aún no existe un sistema público de agua para abastecer las necesidades de la comunidad, lo cual provoca enfermedades y pérdida de oportunidades.

Sin embargo, al implementar esta propuesta se facilitará el diseño de sistemas de bombeo alimentado por energía solar, ya que en ocasiones es complicado realizar los cálculos para dimensionarlo de manera adecuada según las necesidades del sitio. El proyecto por trabajar es Propuesta para el diseño y cálculo de un sistema de abastecimiento de agua por medio de bombeo solar fotovoltaico aplicado a áreas rurales.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Abastecimiento de agua

Se considera al agua como un líquido vital, necesario para que la vida se pueda desarrollar en cualquier ambiente. También es considerado como un recurso importante para el desarrollo, tanto económico como social de las comunidades rurales en cualquier país, ya que con el agua se pueden llevar a cabo actividades agrícolas que son las principales actividades económicas del área rural de cualquier nación.

7.1.1. Disponibilidad de agua en las áreas rurales de Guatemala

Actualmente en el país existen algunas regiones que aún no cuentan con servicio de agua potable continuo, lo que obliga a obtener el agua necesaria para las actividades cotidianas de otras fuentes como ríos lagos o pozos perforados. Esta situación no contribuye al desarrollo de la población, ya que la falta de este recurso está relacionado con enfermedades por falta de higiene; además, con un sistema continuo de suministro se puede distribuir más fácilmente el agua para riego de cultivos y para el ganado.

En algunos puntos alejados del país no es factible instalar el servicio de suministro de agua, debido al gasto de infraestructura o a la geografía del lugar, sin embargo, existen algunas opciones, como el bombeo solar, que pueden ayudar en gran manera al desarrollo.

7.2. Fuentes de recolección de agua para el hogar

En caso de no contar con un sistema de tuberías dentro de la comunidad, es posible considerar otras alternativas para proveer este vital recurso, dependiendo de la región puede ser desde un río, lago, un chorro público o un pozo perforado.

7.2.1. Chorro público

Se refiere al grifo instalado generalmente en un lugar público de fácil acceso a las personas: en la calle, callejón, esquina, vereda o parque, para uso de la comunidad.

7.2.2. Río, lago, manantial, camión cisterna o tonel

Un río se trata de una corriente natural de agua continua que desemboca en otra similar, en un lago o en el mar. Por otra parte, un lago es una masa permanente de agua que se encuentra depositada en las depresiones geográficas de un terreno. En tanto, un manantial se define como el lugar donde el agua brota naturalmente entre las piedras o de la tierra, también conocido como yacimiento de agua.

Camión cisterna o tonel se refiere a otras formas de suministro de agua, como los camiones que reparten periódicamente agua y la población lo recolecta en toneles o recipientes.

7.2.3. Pozo perforado público o privado

Un pozo de agua o una perforación es una obra de captación vertical, que permite la explotación del agua freática contenida en los yacimientos o las fisuras de las rocas del subsuelo. A este tipo de recursos se denominan manto acuífero.

7.2.4. Tubería dentro de la vivienda

La tubería de agua es un conducto que cumple la función de transportar agua, ya sea en instalaciones de suministro de agua o de saneamiento.

7.3. Acceso a electricidad en áreas rurales

Debido a la ubicación geográfica de las comunidades rurales de Guatemala, en ocasiones, es una de las limitantes principales del crecimiento económico de estas poblaciones ya que esto está relacionado directamente con el difícil acceso a la electricidad. Una de las soluciones a esta problemática es el bombeo solar, que a diferencia del acceso a la electricidad este se puede instalar en cualquier área que se encuentre despejada y que permita que la luz irradiada por el sol llegue directamente a los paneles solares.

7.3.1. Servicio eléctrico

El sistema eléctrico es el conjunto de todos los elementos que hacen posible llevar la electricidad al lugar donde se requiere, para alimentar alguna carga, el cual comienza desde la parte de generación, que se encarga de producir mediante energías renovables o no renovables. Luego se encuentra la parte de transmisión y distribución, para conducir la electricidad a los lugares donde se encuentra la población o industria que requiere de este servicio.

Todo este sistema es complejo y costoso, por lo que, es necesario generar estudios de prefactibilidad antes de poner en marcha el proyecto de instalación. En algunos casos, debido a lo remoto de algunas comunidades rurales, se determina que no es factible la instalación de la infraestructura necesaria para llevar el servicio eléctrico. Existen otras formas de generación autónoma como paneles solares y generadores a base de combustibles fósiles, los cuales permiten llevar electricidad a estas y con esto mejorar su estilo de vida.

7.4. Oportunidades y beneficios de servicio de agua en las comunidades

Las oportunidades y beneficios del servicio de agua para las comunidades se presentan en los siguientes apartados.

7.4.1. Beneficios en la salud

Las comunidades que no tienen acceso a un sistema de suministro de agua hasta sus hogares se ven en la necesidad de extraer dicho recurso de ríos, lagunas o pozos. Sin embargo, esta agua puede estar contaminada con diversas bacterias o hasta metales pesados y en ocasiones al no ser filtrada, es una de las principales causas de enfermedades en la población debido al consumo de agua contaminada.

Como se menciona en el artículo sobre abastecimiento de agua, Lentini (2010) expresa que: “la discontinuidad y la falta de presión de los servicios pueden agravar los problemas de calidad del agua” (p. 75). Por este y muchos otros motivos es de gran ayuda a la salud de la población tener un sistema continuo de bombeo de agua.

7.4.2. Oportunidades de desarrollo en agricultura y ganadería

El tener suministro constante de agua mejora el desarrollo en el sector agrícola, debido a que si no se cuenta con una fuente de agua cerca del área donde se requiere será necesario transportarla desde alguna fuente que puede estar alejada. Esta situación limita el crecimiento de la industria agrícola más allá de un límite definido por la falta del vital líquido, ya que el suministro continuo de agua permite el desarrollo en la economía rural, mejorando la producción agrícola. En el caso de granjas y comunidades rurales, una buena opción es implementar bombeo solar para tener un suministro constante de este recurso tan vital.

Como se indica en el artículo titulado *Utilizando energía renovable para bombear agua*, según Enciso y Macke (2006):

Las bombas solares son económicamente factibles para el riego agrícola cuando se requiere poca cantidad de agua y la elevación de bombeo es pequeña, tales como el riego por goteo, el cual utiliza menos agua que otros tipos de riego. (p. 4)

Este es el caso de muchas comunidades rurales donde actualmente no se tiene un suministro constante de agua.

7.4.3. Mejoras en las condiciones de vida

El agua es una sustancia clave y necesaria, la cual se requiere para efectuar las tareas más básicas de higiene. Es un elemento de vital importancia para la supervivencia, comenzando por el agua para el consumo humano, la cual debe tener cierta calidad para no provocar afecciones en la salud de los

consumidores, pero también se requiere para el desarrollo agrícola y el cuidado del ganado, sin dejar de lado otras actividades de los hogares como: cocinar, limpieza de la casa, entre otras.

Debido a su vital importancia, cada comunidad debería contar con un suministro de agua constante, sin embargo, en algunas zonas rurales ubicadas en lugares remotos no se cuenta con este recurso, principalmente por los costos. Afortunadamente existen alternativas como el bombeo solar o el bombeo por medio de generadores, accionados con motores de combustión interna, lo cual ayuda a abastecer a la comunidad.

7.5. Bombeo solar

El bombeo solar es el sistema de bombeo de agua de un pozo por medio de electricidad, la cual se obtiene de una fuente de energía renovable como lo es el sol. Es posible aprovechar esta energía transformándola a energía eléctrica mediante paneles solares. El sistema de bombeo solar consta de las siguientes partes para su funcionamiento y aplicación.

7.5.1. Pozo

En su disposición más básica, un pozo es un agujero perforado en el suelo para acceder al agua contenida en un manto acuífero. Se utiliza tubería y una bomba para extraer el agua de este acuífero. Antes de que el agua entre a la tubería de succión se ubica una pantalla que filtra las partículas no deseadas que pudieran obstruir la tubería. Existen pozos de diferentes formas y tamaños, según el tipo de material en el que se perfora. Se pueden clasificar en tres grupos.

- Los pozos perforados o poco profundos generalmente se localizan en una fuente de agua no confinada, que normalmente se encuentra a profundidades de 100 pies o menos.
- Los pozos consolidados o de roca se perforan en una formación que consiste enteramente en una formación rocosa natural, que no contiene suelo y no colapsa. Su profundidad promedio es de unos 250 pies.
- Los pozos no consolidados o de arena se perforan en una formación que consta de tierra, arena, grava o material arcilloso que colapsa sobre sí mismo.

Por el tipo de perforación, los pozos se clasifican en:

- Los pozos perforados: son agujeros en el suelo, por lo general excavados con maquinaria. Tienen un recubrimiento que puede ser de piedras, ladrillos, tejas u otro material para evitar que se colapsen en sí mismos. Los pozos excavados tienen un diámetro mayor en comparación con las demás clasificaciones, tienen poca profundidad (aproximadamente de 10 a 30 pies de profundidad) y su revestimiento no es continuo.
- Los pozos hincados: son los que proporcionan agua mediante la introducción de secciones de tubería en el suelo.
- Los pozos perforados tienen un revestimiento de forma continua y su profundidad es relativamente poca (aproximadamente de 30 a 50 pies). Aunque los pozos perforados tienen recubrimiento, existe la probabilidad de que el agua que contienen este contaminada porque los acuíferos están cercanos a la superficie.

- Los pozos perforados se construyen con máquinas perforadoras rotatorias o de percusión. Los pozos perforados pueden tener miles de pies de profundidad y requieren la instalación de revestimiento. Los pozos perforados tienen un menor riesgo de contaminación debido a su profundidad y al uso de tubería de revestimiento continua.

7.5.2. Requerimientos de agua dependiendo del proyecto

Para obtener una cantidad de agua razonable para cualquier comunidad en particular, esta cantidad de agua se debe analizar con base en el uso doméstico y agrícola que se le dará. La cantidad de agua que requiere cada ser vivo para su funcionamiento óptimo se encuentra determinada por las necesidades fisiológicas, así como las condiciones climatológicas de la zona donde se desarrolla.

7.5.3. Términos hidráulicos

Es necesario conocer ciertos conceptos para el diseño de una instalación de bombeo alimentado por energía solar, en especial en la parte de hidráulica, para tener un estimado de la demanda potencia eléctrica necesaria, para cubrir la demanda en el sitio. Estos son algunos conceptos fundamentales que influyen en el cálculo:

- Capacidad del pozo: lo cual hace referencia a cuánta agua puede suministrar el pozo en un tiempo determinado. Es necesario conocer este dato porque si se extrae más agua de la que puede suministrar el pozo, eventualmente se secará y dejará sin servicio a la población.

- Demanda de agua: básicamente se refiere al consumo de agua por parte de la comunidad. En este aspecto no solo de debe tomar en cuenta el consumo humano diario, sino también el agua que se requiere para actividades de cultivo y crianza de ganado; dicho calculo se realiza con base en las necesidades de cada comunidad.
- Tasa de flujo (caudal): es el gasto que puede entregar el pozo en unidades de volumen por un intervalo de tiempo establecido. Lo cual depende de la sección transversal de la tubería y de la velocidad; se puede representar con la siguiente expresión:

$$Q = v * S (1)$$

Donde:

Q : caudal

v : velocidad del fluido en el conducto

S : área transversal

- Ademe: es la medida del diámetro de la camisa del pozo o tubo de protección, el cual permite que ingrese el agua del acuífero pero siempre mantiene la estabilidad del pozo.
- Capacidad de la bomba: es la medida del volumen de agua que la bomba puede proporcionar en cierta unidad de tiempo, básicamente es el caudal de la bomba.

- Nivel estático y dinámico: el nivel estático se refiere a la profundidad que se encuentra el espejo de agua, cuando el líquido está en reposo. El nivel dinámico se refiere a la profundidad que se ve el espejo de agua, pero cuando se encuentra en el proceso de bombeo.
- Nivel de descarga: es el término que se refiere a la altura que se debe llevar el agua; se mide desde la superficie hasta el borde superior del tanque donde se realiza el almacenamiento del agua.
- Altura de fricción: es la distancia extra que se agrega como forma de considerar la fuerza de fricción que se experimenta en las paredes de la tubería, conexiones y válvulas que se encuentran en el recorrido.
- Abatimiento: esta distancia es la diferencia que existe entre el nivel estático y el dinámico.
- Carga hidráulica: es la distancia que se debe transportar el líquido desde el nivel de bombeo hasta el reservorio o nivel de descarga.
- Carga dinámica: es la carga hidráulica producto del desplazamiento del agua dentro de la tubería; también se le conoce como carga de fricción, que depende en buena parte del tipo de tubería y dimensiones de esta.
- Carga estática: es la carga o la distancia que se debe transportar el agua desde el nivel estático hasta el nivel de descarga; está dada por la suma de la profundidad del espejo de agua y la altura de descarga.

- Carga dinámica total: es otro de los conceptos importantes para el cálculo, y no es más que la suma de todas las cargas, la estática y la dinámica, queda expresada por:

$$CDT = A + B + CE (2)$$

Donde:

CDT: carga dinámica total

A: altura de descarga

B: profundidad del espejo de agua

7.6. Presión estática y dinámica

La presión en mecánica de fluidos es la fuerza física continua que se ejerce contra un objeto producida por un fluido, en este caso el agua ejerce presión sobre las tuberías. Siempre que se encuentre agua circulando en la tubería, existe una caída de presión, debido al material y diámetro de la tubería o conexiones que siempre provocan cierta resistencia al flujo de agua. La presión estática es producida por la gravedad y fuerzas que tienden a comprimir los líquidos sobre la superficie de un objeto en reposo o movimiento lineal uniforme.

Por aparte, la presión dinámica ocurre cuando el fluido se encuentra en movimiento y se manifiesta en todas las superficies del cuerpo que lo contiene. La presión dinámica solo la generan fluidos en movimiento como consecuencia de la velocidad de cada una de sus moléculas, y como estas se mueven a lo largo de la tubería, no se ejerce presión sobre las paredes. Por esto no puede ser medida por manómetros, pero se puede sentir instantáneamente si se intenta obstruir la tubería.

7.7. Carga por fricción o las caídas de presión

El rozamiento que ocurre entre las paredes del ducto que transporta el líquido y las moléculas de agua causa cierta caída de presión; esta se relaciona directamente con el material del cual está constituido este ducto y también de la viscosidad del fluido. Con base en esto, se puede decir que la caída de presión es directamente proporcional al largo de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de esta.

7.8. Motores eléctricos

El motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. El fenómeno que provoca su funcionamiento se explica por medio de las leyes de Maxwell, el cual se debe al fenómeno de inducción electromagnética, al hacer circular una corriente por un devanado concéntrico que crea un campo electromagnético, que al interactuar con el campo magnético del rotor gira. Se clasifica dependiendo del tipo de corriente eléctrica que use para su funcionamiento en:

- Motores CD: son motores de corriente continua que constan principalmente del 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. Como parte del diseño, utilizan escobillas que hacen contacto con el colector y de esta manera transmiten la potencia a este. Existen varios tipos de motor, entre sus variaciones se puede encontrar que el estator sea un imán permanente o sea un electroimán. Como toda máquina tienen algunas desventajas, como el rápido desgaste de las escobillas, pero esto se mejoró al desarrollar motores de corriente directa sin carbones y con imanes

permanentes en el rotor. Esto es ventajoso en caso del bombeo, ya que reduce el mantenimiento necesario de la bomba sumergible. La ventaja en general es una alta eficiencia, que se acopla directamente a los paneles y no requiere inversor; pero algunas desventajas son que si el motor es de carbones requiere extracción para mantenimientos constantes, además de que el costo es mayor que el de los motores CA, y no existen motores de grandes potencias.

- Motores CA: el motor de corriente alterna tiene una gran cantidad de aplicaciones en la industria, debido a su alta eficiencia y bajo costo; se clasifican en síncronos y asíncronos, los más comunes son los asíncronos debido a que son más económicos que los síncronos.

Se pueden utilizar motores AC monofásicos o trifásicos, pero lo más recomendable es un motor trifásico si es una carga hidráulica grande.

7.9. Bomba de agua

Dos tipos de bombas se utilizan comúnmente para aplicaciones de bombeo, alimentado mediante energía solar:

- Bombas de desplazamiento positivo y bombas centrífugas: las bombas centrífugas se utilizan cuando no se requiere un gran caudal y son bastante rentables. Por otro lado, las bombas centrífugas tienen una eficiencia relativamente alta.
- Bombas de agua solares (CC): el componente principal de estos sistemas es la bomba. Las bombas de agua solares están especialmente diseñadas para utilizar la energía solar de manera eficiente.

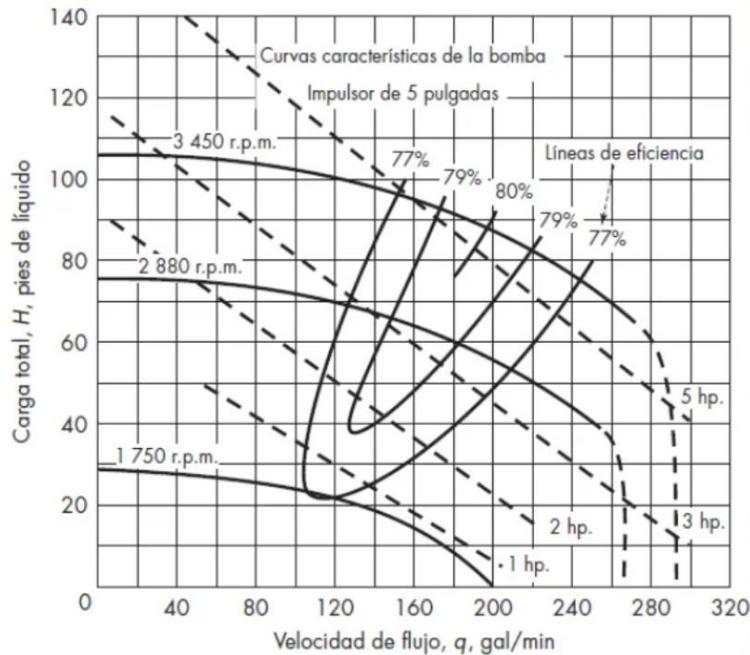
Las bombas convencionales requieren una corriente CA constante que suministran las líneas de servicios públicos o generadores. Pero la ventaja de las bombas alimentadas con energía solar es que usan corriente continua de baterías o paneles solares. Además, están diseñados para funcionar de manera efectiva en condiciones de poca luz, con voltaje reducido, sin detenerse ni sobrecalentarse.

El bombeo de bajo volumen mantiene bajo el costo del sistema al usar una cantidad mínima de paneles solares y usar todo el período de luz del día para bombear agua o cargar baterías. Algunas bombas solares son totalmente sumergibles, mientras que otras no lo son. El uso de bombas sumergibles elimina posibles problemas. Gran parte de las bombas de agua alimentadas con energía solar están diseñadas para usar la energía solar de manera más eficiente y funcionan con 12 a 36 voltios de CC. Los fabricantes de bombas publican información que describe el rendimiento de cada bomba en condiciones de funcionamiento variables. La elección de la bomba depende del volumen de agua necesario, la eficiencia, el precio y la confiabilidad.

7.10. Criterio para la selección de bombas

Las propiedades de una bomba son muchas y estas se deben tener en cuenta al momento de hacer una instalación de un sistema de bombeo alimentado por energía solar. Para ello se han creado las curvas típicas de bombeos de las bombas, esta es información que nos brinda el fabricante de la bomba. Se trata de una representación gráfica del caudal versus la carga total del sistema, y el caudal versus la eficiencia de la bomba en una misma gráfica, para facilitar la interpretación de datos.

Figura 2. **Curvas características de una bomba**



Fuente: Lugo, N. (2016). *Curva característica de una bomba*. Consultado el 15 de octubre de 2022. Recuperado de <https://es.slideshare.net/cecymedinagcia/curva-caracterstica-de-una-bomba>.

Como ejemplo se toma la curva típica de una bomba centrífuga de impulsor de cinco pulgadas de diámetro. El eje de las ordenadas indica la altura total del sistema; en el eje de las abscisas se encuentran los datos del caudal que es capaz de hacer circular la bomba; las líneas punteadas representan las potencias disponibles para las bombas; las líneas continuas opacas representan las velocidades a las cuales la bomba puede funcionar; y las líneas continuas representan la eficiencia de la máquina. En las maquinas hidráulicas es normal obtener valores de eficiencia del 70 % al 84 % de eficiencia. Una vez establecido el caudal requerido y la altura total es fácil obtener la información de la bomba que se necesita para el sistema.

7.11. Paneles solares

Un panel solar o bien panel fotovoltaico es un dispositivo que mediante reacciones electroquímicas convierte un haz de fotones incidentes en él en una corriente eléctrica, la cual es posible aprovechar para accionar una bomba de agua para el sistema de bombeo solar. Las variables a considerar en la aplicación de estos paneles solares son las que se mencionan a continuación.

7.11.1. La luz solar

El Sol es un recurso importante para la vida en general sobre el planeta Tierra, ya que influye en muchos procesos de absorción por parte de las plantas, y en el ciclo del agua en el proceso de evaporación y condensación, así como otros procesos que mantienen un equilibrio; una de las ventajas es que el Sol es una fuente inagotable de energía. Esta energía llega a la tierra en forma de radiación electromagnética. Lo que se logra percibir con la vista es llamado el espectro visible, pero también está el rango de ultravioleta e infrarrojo.

7.11.2. Irradiancia e insolación

La radiancia solar también conocida como intensidad de la radiación, es cuánta energía por unidad de área atraviesa una superficie imaginaria de área A es normal a la dirección de la propagación de la onda. Por otro lado, la insolación es la densidad de energía acumulada o recibida en un tiempo determinado; en otras palabras, la irradiancia que se acumula en la superficie en la unidad de tiempo.

Como menciona en su tesis Pozo (2019) sobre sistemas de bombeo fotovoltaico: “en el momento de existir un cambio en la irradiancia que llega a la

célula se llega a producir variación de la corriente, así como una diferencia de potencial” (p. 26). Además, dentro de la célula circula corriente con un comportamiento linealmente con la irradiancia, mientras que el voltaje de la célula se ve menos afectado, comportándose como una función logarítmica.

7.11.3. Efectos de atenuación

Al ingresar la luz en la atmosfera y llegar hasta la superficie terrestre sufre algunas pérdidas o atenuaciones, ya que parte de la luz es reflejada dispersada o absorbida por la atmosfera. Para aprovechar la energía solar es necesario contar con un captador solar, que recibe y absorbe la energía del sol que llega en forma de luz solar. El grado de atenuación depende de que tan grande sea la trayectoria que recorre la luz cuando atraviesa la atmosfera y el medio por donde atraviesa; en el caso de la radiación que se aprovecha en los paneles solares, el medio que atraviesa es el aire.

7.11.4. Radiación directa, difusa y global

Cualquier captador recibirá radiación de dos tipos: radiación difusa que es la radiación que recibe el captador como aquella que viene de la bóveda celeste. La cual está compuesta por dos componentes, la refractada y la reflejada. Y la directa es aquella radiación que llega al captador sin sufrir algún cambio de dirección en su trayectoria, desde el foco emisor hacia este. Por último, la radiación global es la adición de la radiación directa y difusa. Es importante el conocimiento de estos conceptos ya que, en un día despejado, la irradiancia global que recibe un captador tendrá como componente mayor la radiación directa, mientras que en un día nublado, el componente mayor será la radiación difusa.

La cantidad de irradiancia que se recibe en el captador solar y la energía acumulada depende directamente de la manera en que este recibe la radiación solar. En este caso, si los rayos inciden normalmente en él, la irradiancia recibida será máxima y su tamaño dependerá del tamaño de la superficie del captador.

7.11.5. Trayectoria solar y sombras

La Tierra tiene dos movimientos. La rotación ocurre cada día sobre su eje y traslación, que es el movimiento alrededor del sol, siguiendo una trayectoria elíptica; este tipo de movimientos hacen que el ángulo óptimo para aprovechar la radiación solar cambie constantemente. Por esto se debe buscar la mejor orientación para el captador. Otro factor importante por el que las tecnologías solares no son aprovechadas al máximo es la proyección de sombras, las cuales se generan debido a obstáculos que se interponen entre los rayos del sol y los captadores. Para llevar a cabo un estudio del análisis de sombras es conveniente conocer las trayectorias solares, las cuales dependen de la latitud del sitio en cuestión y del día del año.

7.11.6. Celdas y módulos fotovoltaicos

Las celdas solares son elementos fundamentales en el funcionamiento de esta tecnología, porque una celda fotovoltaica a la cual llega la luz del sol genera electricidad. Esto se manifiesta en las terminales externas del dispositivo, en las que un voltaje generado puede ser medido con un voltímetro. Si las terminales se cortocircuitan, circulará una corriente eléctrica. Además, debido a que están construidas con un material bastante frágil, las celdas deben protegerse contra posibles golpes o impactos que las romperían. Además, deben protegerse contra las condiciones ambientales, ya que se colocan a la intemperie, para evitar

procesos de degradación. Por lo cual, las celdas conectadas se encapsulan para formar los módulos fotovoltaicos.

7.12. Ventajas de la energía solar sobre combustibles fósiles

La energía solar tiene bastante ventaja sobre los combustibles fósiles. Por una parte, los generadores que se alimentan con combustibles fósiles representan una baja inversión inicial, pero altos costos de mantenimiento. Por otra parte, la tecnología fotovoltaica requiere una mayor inversión inicial, pero garantiza una larga vida útil, además de ser la mejor opción para la disminución de la contaminación generada.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Abastecimiento de agua

2.1.1. Disponibilidad de agua en áreas rurales de Guatemala

2.1.2. Fuentes de recolección de agua para el hogar

2.1.2.1. Chorro público

2.1.2.2. Río, lago, manantial, camión o tonel

2.1.2.3. Pozo perforado público o privado

2.1.2.4. Tubería dentro de la vivienda

2.1.3. Acceso a electricidad en áreas rurales

2.1.3.1. Servicio eléctrico

2.1.4. Oportunidades y beneficios de servicio de agua en las comunidades rurales

2.1.4.1. Beneficios en la salud

- 2.1.4.2. Oportunidades de desarrollo en agricultura y ganadería
 - 2.1.4.3. Mejoras en la calidad de vida
 - 2.2. Bombeo solar
 - 2.2.1. Pozo
 - 2.2.1.1. Requerimientos de agua dependiendo del proyecto
 - 2.2.1.2. Términos hidráulicos
 - 2.2.1.3. Presión estática y dinámica
 - 2.2.1.4. Carga por fricción o las caídas de presión
 - 2.2.1.5. Motores eléctricos
 - 2.2.1.6. Bomba de agua
 - 2.2.2. Paneles
 - 2.2.2.1. La luz solar
 - 2.2.2.2. Irradiancia e insolación
 - 2.2.2.3. Efectos de atenuación
 - 2.2.2.4. Radiación directa, difusa y global
 - 2.2.2.5. Trayectoria solar y sombras
 - 2.2.2.6. Celdas módulos fotovoltaicos
 - 2.3. Ventajas de la energía solar sobre combustibles fósiles
 - 2.4. Abastecimiento de agua en áreas rurales de Guatemala

3. RESULTADOS

- 3.1. Cálculos de necesidad de agua según la población
- 3.2. Cálculos de pozo de agua
- 3.3. Cálculos para paneles solares
- 3.4. Elección de bomba de agua adecuada

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Energía solar vs. combustibles fósiles

4.2. Beneficios del bombeo solar

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS.

9. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación será un diseño no experimental, ya que para la mayoría de información solo será recopilada de documentación ya existente con respecto al tema. Por otra parte, el tipo de estudio será solo de variables cuantitativas y cualitativas, ya que el objetivo es desarrollar una metodología para el cálculo de bombeo solar en áreas rurales, y principalmente los factores que influyen son variables continuas.

En el alcance se consideraría una investigación descriptiva, ya que no se está investigando un fenómeno nuevo, solamente explicando algo ya conocido y aplicado a determinado grupo: las comunidades rurales de Guatemala

9.1. Características de estudio

La perspectiva propuesta para este análisis se considera mixta, ya que se emplean variables cualitativas y cuantitativas debido a que antes de la implementación de estos sistemas los usuarios deben conocer la información detallada de los beneficios, tanto económicos como medioambientales, que conlleva la aplicación de un sistema de bombeo alimentado por energía solar.

Las variables cualitativas indicarán los beneficios medioambientales, para contar con un punto de comparación con los sistemas amigables con el ambiente y los que no lo son. Mientras que las variables cuantitativas brindan un punto de vista desde la perspectiva económica, que relaciona los gastos de implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de bombeo

alimentados con energía solar, comparándolos con los sistemas convencionales de bombeo.

9.2. Unidades de análisis

La implementación de estos sistemas está destinada tanto a pequeña como gran escala en las áreas rurales de Guatemala. Desde su uso domiciliar hasta su uso en las industrias agrícolas, con una demanda considerable de agua. Al saber que la infraestructura eléctrica de las comunidades rurales de Guatemala no cuenta con la capacidad ni la fiabilidad para suministrar el servicio a los lugares más remotos de estas comunidades, tomamos como base para nuestro análisis los lugares alejados, donde el difícil el acceso de los servicios de electricidad o bien de alguna otra fuente de energía, como los hidrocarburos. Las variables de estudio se describen a continuación:

Tabla I. **Variables de estudio**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Diseño para la implementación del sistema de bombeo	Hace referencia a la planificación que se realiza, la implementación de un sistema de bombeo de agua. También suele emplearse el termino diseño de implementación en cuanto a la construcción física de algún objeto. (Pérez, 2008)	Para satisfacer demanda de caudal Diseño para pocas pérdidas Periodo de recuperación de inversión lo más pequeño posible
Sistema de bombeo de agua alimentado por energía solar.	Es un sistema implementado para bombear agua utilizando energía eléctrica generada por paneles solares para luego alimentar una bomba hidráulica, la cual es capaz de bombear agua en un sistema cerrado. (Arsinger, 2021)	Disponibilidad de operación Tiempo de vida útil del sistema Ahorro de mantenimiento y costos de operación

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Con el objetivo de obtener los resultados más acertados, se toman datos del lugar geográfico donde estará operando el sistema de bombeo alimentado con energía eléctrica, con el propósito de obtener predicciones certeras, para que al momento de la implementación del sistema de bombeo este opere de una manera óptima y precisa, según su diseño.

Tabla II. **Información mínima para el diseño**

Parámetro	Dimensional	Resultado
Consumo de un sistema de bombeo anual	kWh	
Área disponible para la instalación de paneles.	m ²	
Temperatura promedio	° C	
Potencia nominal de los paneles a usar	Wp	
Irradiación del lugar	W/m ²	
Orientación de los paneles para aprovechar la mayor cantidad de luz solar	° (grados sexagesimales)	
Consumo de un sistema de bombeo convencional	Q	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

9.3. Variables

De acuerdo con la metodología de este diseño de investigación, se abordarán cuatro fases para la realización de este trabajo. Esto se realizará mediante la recopilación de datos y también entrevistas a los habitantes de las áreas rurales de Guatemala. También es importante la recopilación de información del área donde se realizará la instalación de los sistemas de bombeo alimentados con energía solar, para acoplarlos a las necesidades del usuario.

9.3.1. Fase uno: recopilación bibliográfica

Para brindar una propuesta para el diseño de sistemas de bombeo alimentado por energía solar en áreas rurales, es necesario consultar documentación ya existente con respecto al bombeo solar y adaptarla para una

metodología de cálculo simple. Además de este, también es importante conocer cómo cambia el método de aplicación de los sistemas de bombeo alimentados por energía solar, dependencia de la región donde estos estarán funcionando. Esto se logra teniendo un acercamiento con las comunidades donde serán implementados los sistemas.

También se considera que el recurso más importante en este caso es el acceso a la información. Afortunadamente existe una gran cantidad de información relacionada con el bombeo solar, así como información de estadísticas relacionadas a las formas de acceso al agua y electricidad que tiene la población del país.

Tomando como base estos documentos, es posible iniciar la investigación, recolectando la información más importante sobre el cálculo los parámetros del pozo necesarios para el cálculo del suministro fotovoltaico. Por otra parte, se plantea la comparación entre este sistema de bombeo basado en energía renovable y otros sistemas que se basan en el uso de combustibles fósiles. La información recolectada se planteará de manera que el cálculo de los elementos necesarios para implementar el sistema sea bastante sencillo, y los usuarios de las comunidades puedan instalar un sistema adecuado más fácilmente.

9.3.2. Fase dos: análisis de datos recopilados

Por medio de la revisión de documentación se realiza la comparación entre los sistemas de bombeo alimentado por energía solar y los sistemas de combustibles fósiles, demostrando así las ventajas que pueden traer. Además, la finalidad de esto es lograr entregar un modelo simple, para que cualquier persona con necesidad de implementar un sistema de bombeo solar pueda realizar

cálculos y estimaciones. Contribuyendo de esta manera a mejorar la calidad de vida de las áreas rurales al contar con un suministro constante de agua.

9.3.3. Fase tres: diseño de sistema de bombeo alimentado por energía solar

Crear una propuesta para el diseño y cálculo de sistemas de bombeo alimentado por energía solar, para áreas rurales de Guatemala. Se busca simplificar la información para facilitar el diseño de estos sistemas, que representan una gran solución a las necesidades de suministro de agua en algunas regiones del país.

9.3.4. Fase cuatro: propuesta económica de inversión

Como último tema a tratar para la implementación de estos sistemas de bombeo, alimentados con energía solar, se debe evaluar lo siguiente: una propuesta económica de inversión, un estimado de tiempo para el retorno de la inversión y se deben de enlistar los beneficios, tanto económicos como medioambientales, que se tiene al momento de implementar uno de estos sistemas. Adicional a estas acciones a tomar, se debe de contemplar un plan de implementación para estos sistemas de bombeo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

10.1. Diagnóstico de las necesidades de consumo de población

La técnica que se utilizará será la revisión documental, por medio de la cual se recolecta información de investigaciones previas respecto a las formas más sencillas de elaborar los cálculos. Pero para analizar cada una de las situaciones se tomarán en cuenta algunos factores importantes, primeramente, dependiendo del consumo que se tenga en el área donde se desea instalar el sistema de bombeo alimentado por energía solar.

Tabla III. Datos de consumo animal

Tipo de consumo	Cantidad de animales
Vaca lechera en producción	
Vaca, novillos	
Becerro (200-400 kg)	
Toro	
Caballo	
Cerdo	
Oveja	
Cabra	
Pollo	
Pato	
Gallina	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

En las áreas rurales del país, en la mayoría de los casos se utilizan para el cultivo de distintos alimentos, ya sea para consumo nacional o exportación, por lo cual es importante tomar en cuenta este consumo de agua por medio de la siguiente tabla:

Tabla IV. **Datos de consumo agrícola**

Tipo de cultivo	Área de cultivo m²
Cereales	
Leguminosas	
Hortalizas	
Oleaginosas	
Hortalizas	
Frutales	
Pastos	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Por último, se pueden dar otros consumos de este vital recurso, principalmente el consumo humano y también podría ser agua para limpieza del sitio o alguna emergencia.

Tabla V. **Datos de consumo humano**

Tipo de consumo	Cantidad de personas
Humano área rural	
Humano área urbana	
Limpieza del lugar	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Partiendo de estos datos, es posible iniciar el análisis para efectuar el cálculo de los sistemas de bombeo alimentado por energía solar, sin embargo, siempre es necesario indagar acerca de otras condiciones, como la radiación solar, dependiendo del lugar, el pozo y distancia a la cual se quiere transportar el agua. Pero esto se calculará de una forma más sencilla tras realizar una recopilación de varios documentos relacionados con el tema.

11. CRONOGRAMA

11.1. Cronograma

El cronograma de las actividades a ejecutar para el presente trabajo se presenta en la siguiente figura, donde se especifican fechas de inicio y finalización.

Figura 3. Cronograma de actividades

No.	Actividad a Realizar	Duración	Comienzo	Fin	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	
1	tesis de Maestría y Ambiente	385	9/5/2022	24/11/2023																				
2	Elaboración de anteproyecto	65	9/5/2022	22/7/2022																				
3	busqueda de asesor	30	8/7/2022	19/8/2022																				
4	desarrollo de protocolo de investigación	70	26/08/2022	25/11/2022																				
5	Aprobación de protocolo por la escuela de estudios de posgrado	10	15/12/2022	31/12/2022																				
6	autorizaciones necesarias para elaboración de proyecto	5	31/10/2022	4/11/2022																				
7	evaluación de estadísticas de suministro de agua en comunidades rurales	10	18/01/2023	1/2/2023																				
8	evaluación de porcentaje de áreas rurales electrificadas	10	6/2/2023	20/02/2023																				
9	análisis de beneficios - costos entre energía renovable y otras opciones	20	20/02/2023	10/3/2023																				
10	elaboración de propuesta para cálculo detallado	30	10/3/2023	14/4/2023																				
11	elaboración de informe final	35	17/4/2023	26/5/2023																				
12	revisión y defensa de tesis	30	2/6/2023	28/7/2023																				
13	impresión y entrega de tesis	10	4/8/2023	18/8/2023																				
14	graduación	60	18/8/2023	10/11/2023																				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Antes de desarrollar la investigación, es importante tomar en cuenta los recursos necesarios para llevar a cabo la implementación de un sistema de bombeo. En este caso el tema de investigación se enfoca en una propuesta para el diseño y cálculo de un sistema de abastecimiento de agua, por medio de bombeo solar fotovoltaico, aplicado a áreas rurales de Guatemala. Principalmente es necesario el recurso humano, tomando en cuenta la persona que realiza la investigación y todas las personas que aportan información y enriquecen la misma. Para la implementación de un sistema se requieren los recursos que se describen en los siguientes párrafos.

12.1. Permisos y autorizaciones

Para la instalación de un sistema de bombeo, alimentado por energía solar, se deben tener en cuenta ciertos permisos que se requieren, por ejemplo, permisos municipales para la explotación de un pozo. Si el pozo no está construido también se necesita permisos municipales para la perforación del mismo; también se debe tener autorización por parte de las autoridades municipales y los interesados en la implementación del sistema de bombeo.

12.2. Recurso financiero

Para cubrir los gastos relacionados con esta investigación, para la instalación de estos sistemas de bombeo, se cuenta con capital propio del estudiante de maestría en Energía y Ambiente. A continuación, se detallan los gastos que se tienen previstos para la ejecución de esta investigación.

Tabla VI. **Presupuesto para el desarrollo de la investigación**

Recurso	Costo
Honorarios	Q 1 500.00
Costo de asesoría	Q 1 000.00
Impresión de protocolo	Q 400.00
Computadora	Q 5 000.00
Servicio de internet	Q 1 200.00
Total	Q 9 100.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

13. REFERENCIAS

1. Abella, M. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*. España: Academia. Recuperado de: https://books.google.com.gt/books/about/Sistemas_fotovoltaicos.html?id=krRAAAAACAAJ&redir_esc=y.
2. Cruz, L. (2021). *Diseño de instalación de un sistema fotovoltaico en red para bajar el consumo eléctrico del local comercial Restobar Jiz*. (tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.
3. Enciso, J. & Mecke, M. (2006). Utilizando energía renovable para bombear agua. *Texax A&M Agri Life Extension*, 6(7), 1-6.
4. Gargallo, A. (2018). *Medición y análisis del consumo energético de energía eléctrica en los receptores domésticos en condiciones reales de funcionamiento: aplicación a una vivienda unifamiliar*. (tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de: <http://dx.doi.org.proxy.bidig.areandina.edu.co/10.22335/rlct.v11i2.446>.
5. Kazem, H., Quteishat, A., & Younis, M. (2021). Techno-economical study of solar water pumping system: optimum design, evaluation, and comparison. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 6(41), 1-20.

6. Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Guatemala: CEPAL. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3787/LCW335_es.pdf?sequence=1.
7. Lugo, N. (2016). *Curva característica de una bomba*. México: TECNM. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/cecymedinagcia/curva-caracterstica-de-una-bomba>.
8. Ostos, I., Collazos, C., Castellanos, H., & Fernández, C. (2017). Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 169–182.
9. Patiño, J., Tello, J., & Hernández, J. (2013). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual. *Elementos*, 2(2), 1-65.
10. Solar Water Pumping (2020). *Volunteer Village*. Estados Unidos: EWB-USA. Recuperado de: <https://ewb-usa.force.com/VolunteerVillage/s/article/Solar-Water-Pumping>.
11. Solar Water Pumps (2020). *Solar Magazine*. Estados Unidos: SolarMagazine.com. Recuperado de: <https://solarmagazine.com/solar-water-pumps/>.

12. Shinde, V., & Wandre, S. (2015). African Journal of Agricultural Research - solar photovoltaic water pumping system for irrigation: a review. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), 2267-2273. Recuperado de: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text/18B317C53312>.

13. Waterman, B. (2012). *Solar Water Pumping Basics | UVM Extension New Farmer Project*. Estados Unidos: UVM Extension New Farmer Project. Recuperado de: <https://newfarmerproject.wordpress.com/2012/06/14/solar-water-pumping-basics/>.

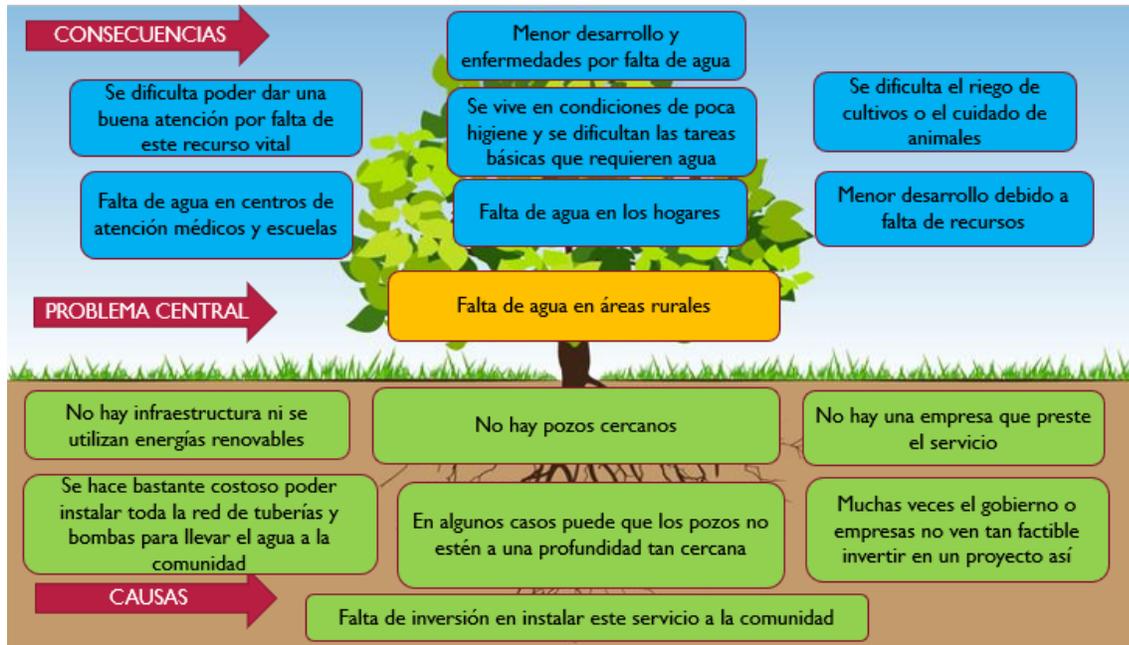
14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Falta de una metodología de cálculo de un sistema eficiente para abastecer de agua las áreas rurales de Guatemala	Proponer una metodología para el diseño y cálculo para sistemas de bombeo alimentado por energía solar en áreas rurales de Guatemala.				
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS				
¿La población no tiene acceso a un abastecimiento de agua continuo?	1. Evaluar la cobertura que tienen actualmente las comunidades rurales de Guatemala a los servicios de energía eléctrica y agua potable.	Tipos de bombas para extracción de agua			Características del agua
PREGUNTAS SECUNDARIAS		Acceso de la población a servicio de electricidad y agua			Hogares con suministro de agua
1. ¿Cuál es el costo de inversión para instalación del servicio de agua potable?	2. Realizar una guía para el diseño del sistema de bombeo alimentado por energía solar identificando cada uno de los elementos que lo conforman.	Paneles solares	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Abastecimiento de agua	Enfermedades por mala calidad de agua
2. ¿Hay pérdida de oportunidades de desarrollo a causa de la falta de agua?	3. Cuantificar los costos de implementación y mantenimiento de un sistema de bombeo alimentado por energía solar en comparación con un sistema de generación por medio de combustibles fósiles.	Necesidad de agua según la población		Bombeo solar	Parámetros para cálculo de paneles (radiación solar, arreglo de paneles, energía producida)
3. ¿Hay un impacto social y económico derivado de la falta de agua?		Otros sistemas de generación con combustibles fósiles			Eficiencia de la bomba y caudal
					Profundidad del pozo y altura de extracción

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, realizado con Power Point 2019.

Apéndice 3. **Datos de consumo animal**

Tipo de consumo	Cantidad de animales
Vaca lechera en producción	
Vaca, novillos	
Becerro (200-400 kg)	
Toro	
Caballo	
Cerdo	
Oveja	
Cabra	
Pollo	
Pato	
Gallina	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Apéndice 4. **Datos de consumo agrícola**

Tipo de cultivo	Área de cultivo m ²
Cereales	
Leguminosas	
Hortalizas	
Oleaginosas	
Hortalizas	
Frutales	
Pastos	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

Apéndice 5. **Datos de consumo humano**

Tipo de consumo	Cantidad de personas
Humano área rural	
Humano área urbana	
Limpieza del lugar	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.