



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE ÁREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**

Gerardo Alejandro Prado Chojolán

Asesorado por MSc. Ing. Rodolfo Ernesto Rodríguez Rodríguez

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE ÁREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GERARDO ALEJANDRO PRADO CHOJOLÁN

ASESORADO POR MSC. ING. RODOLFO ERNESTO RODRÍGUEZ
RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO 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. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Mario Alberto Reyes Calderón
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 INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE ÁREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 17 de noviembre de 2022.

Gerardo Alejandro Prado Chojolán



EEPFI-PP-2126-2022

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.

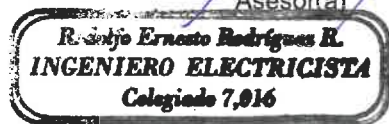
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE ÁREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energías renovables - Diseño y operación de proyectos eólicos y solares**, presentado por el estudiante **Gerardo Alejandro Prado Chojolán** carné número **201801409**, 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. Rodolfo Ernesto Rodríguez Rodríguez
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





EEP-EIME-1736-2022

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 LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE ÁREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Gerardo Alejandro Prado Chojolán**, 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

The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA', 'DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA', and 'FACULTAD DE INGENIERIA'.

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


Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.041.2023

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 INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR HÍBRIDO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE AREAS RURALES EN HUEHUETENANGO**, presentado por: **Gerardo Alejandro Prado Chojolán**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Por acompañarme en cada paso de mi vida, brindándome sus consejos y apoyo incondicional. Gracias por su amor y cariño que me ha convertido en la persona que soy.

Mis hermanas

Por estar siempre presentes, su cariño y apoyo incondicional durante toda mi vida. Siempre velando los unos en los otros y por ser tan buenas conmigo.

Mis abuelos

Por ser un ejemplo de vida y superación. Gracias por sus consejos y por compartir sus experiencias conmigo.

Mis tíos

Por ser un gran pilar en mi vida, sus consejos, ayuda y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en todas mis decisiones.

Mis amigos

Por compartir tiempo conmigo y estar presentes en los buenos y malos momentos. Por darme sus consejos, ideas y opiniones que me han llevado hasta donde estoy.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi familia

Por toda la ayuda que me han brindado durante todo el proceso de investigación y redacción de este trabajo. A mis padres principalmente por todo el apoyo que me brindaron para salir adelante.

Mtro. Ing. Rodolfo Rodríguez

Por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos y guía, así como en la realización de este trabajo de investigación.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la sede de todo el conocimiento que adquirí y por brindarme la oportunidad de profesionalizarme.

La empresa

Por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación.

La comunidad

Por aceptar el proyecto presentado, aportando ideas y velando por el éxito del mismo.

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	8
3.3. Delimitación del problema	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
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. Fuente de energía	21

7.1.1.	No renovable	22
	7.1.1.1. Petróleo	23
	7.1.1.2. Carbón.....	23
	7.1.1.3. Gas natural	23
7.1.2.	Renovable o alternativa.....	24
	7.1.2.1. Energía eólica.....	24
	7.1.2.2. Energía hidráulica.....	24
	7.1.2.3. Energía mareomotriz	24
	7.1.2.4. Biomasa.....	24
	7.1.2.5. Energía solar	25
7.2.	Sistema fotovoltaico	25
7.2.1.	Esquema de la generación fotovoltaica.....	27
	7.2.1.1. Célula fotovoltaica	27
	7.2.1.2. Paneles solares	28
	7.2.1.3. Inversores.....	29
	7.2.1.4. Controlador de carga	29
	7.2.1.5. Baterías	30
7.2.2.	Funcionamiento del sistema fotovoltaico.....	31
7.2.3.	Tipos de sistema fotovoltaico	32
	7.2.3.1. Autónomo o aislado de la red.....	32
	7.2.3.2. Interconectado a la red.....	33
	7.2.3.3. Híbrido.....	33
7.3.	Marco conceptual.....	34
7.3.1.	Consumo eléctrico.....	34
7.3.2.	Medición del consumo eléctrico.....	35
	7.3.2.1. Analógico.....	35
	7.3.2.2. Digital.....	36
7.3.3.	Importancia del consumo eléctrico para el diseño de un sistema solar fotovoltaico	36

7.3.4.	Consumo energético requerido.....	37
7.4.	Generación fotovoltaica	37
7.4.1.	Normativas y reglamentos para sistemas de generación renovables en Guatemala	38
7.4.1.1.	Ley general de electricidad	38
7.4.1.2.	Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía -NTGDR-.....	39
7.4.1.2.1.	Generación distribuida renovable.....	39
7.4.1.2.2.	Usuario autoprodutor con excedente de energía	40
7.5.	Beneficios del sistema solar	40
7.5.1.	Disminución del consumo de energía de la red	41
7.5.2.	Crecientemente competitiva	41
7.5.3.	No contaminante.....	41
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	51
9.1.	Características del estudio	51
9.2.	Unidad de análisis	52
9.3.	Variables.....	52
9.4.	Fases del estudio.....	54
9.4.1.	Fase 1: exploración bibliografía	54
9.4.2.	Fase 2: análisis de datos recopilados	55
9.4.3.	Fase 3: diseño del sistema fotovoltaico híbrido	55
9.4.4.	Fase 4: propuesta de plan de gestión eficiente	55

9.5.	Resultados esperados.....	55
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	57
11.	CRONOGRAMA	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
12.1.	Recurso humano	63
12.2.	Permisos y autorizaciones.....	63
12.3.	Recurso financiero	63
12.4.	Acceso a la información	64
13.	REFERENCIAS	65
14.	APÉNDICES	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del problema	8
2.	Fuentes de energía	22
3.	Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido	27
4.	Elementos que componen un sistema fotovoltaico híbrido	31
5.	Principales empresas distribuidores en Guatemala	35

TABLAS

I.	Desglose de variables	52
II.	Información mínima para diseño	53
III.	Recopilación de información	54
IV.	Obtención de información de la residencia	57
V.	Datos de diseño para análisis	58
VI.	Análisis comparativo	58
VII.	Comparativo de facturación	59
VIII.	Cronograma de actividades	61
IX.	Presupuesto	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
FV	Fotovoltaico
°	Grados
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
h	Horas
m²	Metros Cuadrados
'	Pies
%	Porcentaje
”	Pulgadas
Q	Quetzales
V	Voltios
W	Watts
Wh	Watt-hora
Wp	Watts pico

GLOSARIO

Corriente alterna	Es el tipo de corriente eléctrica en la que el flujo de electrones se comporta y varían de manera cíclica.
Corriente directa	Es el tipo de corriente eléctrica donde las cargas eléctricas fluyen siempre en un mismo sentido.
Corriente inversa	Es una corriente que va en sentido contrario a la convencional, también se llama de retorno.
Corriente	Flujo de carga eléctrica que atraviesa un material conductor debido al desplazamiento de electrones.
Curva I-V	Es una característica de cada uno de los paneles solares.
Energía eléctrica	Es el movimiento de electrones entre dos puntos cuando existe una diferencia de potencial.
Frecuencia eléctrica	Es el número de veces que una onda de forma senoidal completa un ciclo de positivo a negativo.
MPPT	Son dispositivos que obtienen la máxima potencia de los módulos fotovoltaicos.

Pérdidas eléctricas	Es aquella potencia que no es aprovechada para la realización de un trabajo, normalmente en calor.
Potencia eléctrica	Es el ritmo con el cual la energía eléctrica se transfiere por medio de un circuito.
Sobrecarga	Es cuando se supera la potencia nominal que puede soportar o proporcionar un sistema.
Tensión	Se refiere a la presión de una fuente de energía que empuja los electrones a través de un circuito.

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el proceso de recopilación de información, diseño y análisis de un proyecto de un sistema solar fotovoltaico híbrido para la implementación en una residencia con el fin de proveer una solución o alternativa a la red eléctrica convencional. De esta manera, se pretende brindar un conjunto de equipos que permitan satisfacer la demanda de electricidad que la residencia requiere con normalidad a lo largo del día.

De esta misma forma, se demuestra la viabilidad de la implementación de esta clase de sistemas en instalaciones eléctricas que tengan inconvenientes con la red eléctrica o, simplemente, carezcan de esta y necesiten de electricidad las 24 horas del día. Así pues, se fomenta la adopción de nuevas tecnologías como lo es la energía renovable; preservando el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de los involucrados.

Guatemala está en un momento crucial para la transición a sistemas descentralizados que permitan la generación para el autoconsumo, logrando cumplir con los requerimientos técnicos a la vez que económicos. Demostrando que son sistemas rentables, duraderos y con mucha iniciativa para contrarrestar la utilización de combustibles fósiles. Ayudando al medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global.

1. INTRODUCCIÓN

La energía renovable ha tomado un mayor impulso en la actualidad debido a que se presenta como una alternativa que promueve la protección del medio ambiente. Es una solución ante los combustibles fósiles, los cuales emiten gases de efecto invernadero. De esta manera, es necesario promover la utilización e implementación de nuevas alternativas en la generación eléctrica que sean amigables con el medio ambiente y aporten a la desaceleración del calentamiento global. Así, varias instituciones públicas y privadas han apostado por las diferentes tecnologías de energía renovable que respetan al medio ambiente. A la vez de que estas tecnologías permiten la proliferación de soluciones para la electrificación de comunidades que cuentan con un servicio intermitente o simplemente no cuentan con dicho servicio de electricidad.

La energía solar se ha demostrado que es una de las tecnologías más ecológicamente amigables y de fácil instalación para la generación de energía eléctrica. El aprovechamiento de la energía solar se realiza generalmente a través del efecto fotovoltaico y del calor que puede generar. En el primer caso, se emplean módulos fotovoltaicos, mejor conocidos como paneles solares, para convertir la energía solar en energía eléctrica utilizable. Lo exitoso de esta transformación es que no produce ningún tipo de gas tóxico o gas de efecto invernadero, por lo que se planta como una de las mejores tecnologías de producción eléctrica a nivel mundial y que debe tratar de ser adaptada con mayor regularidad en Guatemala. Sumado a esto, el país se encuentra en una posición estratégica que permite una gran oportunidad para el pleno aprovechamiento de la energía solar.

Por lo tanto, se propone una metodología para el cálculo del dimensionamiento de sistemas conectados a la red, que tendrá como soporte diferentes criterios existentes en libros para la mejor opción de diseño para viviendas unifamiliares en Huehuetenango a través de la recopilación técnica de los componentes recomendados y características climatológicas y técnicas del lugar de instalación.

2. ANTECEDENTES

En el transcurso de los años, se ha logrado el desarrollo de distintas maneras de lograr el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos (principalmente solares) a través de la transformación en electricidad. Se puede observar que la tecnología ha mejorado proporcionalmente a lo largo de los años de tal manera que se tiene una eficiencia realmente alta de todos los medios de captación y transformación de la energía presente en diferentes formas, en su mayoría solar. En Guatemala se han adoptado estas tecnologías, a través de la utilización de paneles solares, logrando una transición energética ideal, esto resulta en la apertura de nuevas oportunidades de producir electricidad que esté en concordancia con el cuidado del ambiente.

Un primer trabajo que explica los sistemas fotovoltaicos híbridos es explicado por Ostos, Collazos, Castellanos y Fernández (2017), quienes en su documento titulado, *Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia*, explican que poner en marcha sistemas fotovoltaicos se presenta como una forma rentable y eficiente para suplir el consumo eléctrico en las zonas rurales, agregado a que la electricidad suministrada por las empresas distribuidoras, en muchos casos, no es la ideal porque presenta un desequilibrio del servicio y una desviación brusca de tensión.

Estos sistemas son capaces de producir electricidad de manera confiable y segura, y también son capaces de definir los rangos de voltaje, corriente y frecuencia necesarios para obtener la mejor calidad de energía. Por medio de esta investigación se buscó la puesta en marcha de un sistema FV de la mejor calidad para una casa de descanso en la localización delimitada, y así se suple

la demanda presentada por el usuario la cual es de 28 kWh. El sistema se compuso por 30 paneles solares policristalinos de 255 Wp cada uno; un banco de baterías, permitiendo al usuario la posibilidad de permanecer desconectado de la red; controladores tipo MPPT los cuales rastrean el máximo punto de generación; inversores tipo híbridos, que permiten que el sistema puede estar conectado o desconectado de la red, en este caso la red pasa a ser un sistema de emergencia.

Es económico y se puede lograr principalmente reemplazando el sistema de agua caliente, utilizando absorbedores de gas por energía solar, proporcionando ahorros suficientes para financiar la implementación del sistema fotovoltaico propuesto. La potencia de salida de alta calidad significa un estado de comodidad y bienestar para el usuario.

Una primera guía base corresponde a Espitia (2017), quien realizó la *Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia*. En la cual se abordan consideraciones importantes acerca de los proyectos fotovoltaicos para guiar a personas que tengan poca o nula experiencia en los mismos. Se brindan las ventajas y beneficios de adoptar este tipo de tecnologías, tanto individual para el usuario como para la disminución de la contaminación del mundo.

El trabajo anteriormente mencionado enmarca un procedimiento lógico y puntual para el dimensionamiento de la cantidad necesaria de módulos fotovoltaicos de cierta potencia, requisitos mínimos de inversores, calibre de conductores, diámetro de tubería y explicaciones varias a tomar en cuenta en la instalación del proyecto como tal. Envuelve una explicación clara y concisa para que un usuario determinado pueda entenderla e implementarla de acuerdo con las necesidades que este tenga, junto con un ejemplo de aplicación ya

determinado. Entonces, a partir de una estructura básica de la misma, se puede tomar como punto de partida para una metodología en Guatemala para sistemas fotovoltaicos híbridos, específicamente.

Un tercer trabajo corresponde a Loaeza, Carmona y Tenorio (2012), denominado, *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. En este trabajo se detalla una metodología para sistemas fotovoltaicos con la diferencia que para la alimentación de luminarias específicamente. No obstante, se describen de una manera comprensible los diferentes pasos para el dimensionamiento respectivo de los elementos que componen al sistema fotovoltaico.

Por lo cual es un punto de partida importante a tomar en consideración. En este trabajo, se describe la importancia y beneficios para trasladarse a las tecnologías que aprovechan la energía renovable, a la vez que detalla un método para cuantificar los requerimientos mínimos de equipos y módulos necesarios para alimentar ciertas cargas estimadas.

Otra investigación importante es la realizada por Cadena, Firman, Toranzos, Cadena y Vera (2012) que se titula como *Sistema híbrido para la caracterización eléctrica de arreglos fotovoltaicos* nos indica que en sistemas FV es muy importante conocer los detalles de la totalidad de energía obtenible, así como del rendimiento del sistema y todos aquellos inconvenientes que pueden ocurrir en diferentes condiciones de operación.

Por último, un trabajo de igual relevancia es el realizado por Patiño, Tello y Hernández (2013), el cual lleva como título *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual* el cual desarrolla que la producción de electricidad a

través de paneles solares cuenta con una expansión más rápida en su adopción en la generación distribuida debido a que emplea un recurso primario inagotable y que posee una gran facilidad de colocación así como que necesita de un plan mantenimiento reducido o nulo.

Entonces, en los lugares donde se adopten estos sistemas, es posible la conversión de estos en áreas autónomas que pueden subsistir con un consumo propio del recurso eléctrico o entregar a la red el exceso de este. La novedad de este sistema híbrido es que se basa en una disposición única de sistemas fotovoltaicos, porque tiene la propiedad de unir las características de mayor relevancia de los sistemas fotovoltaicos aislados e interconectados.

Cabe resaltar que ninguna de estas investigaciones se realizó en Guatemala, por lo cual resulta interesante contrastar entre los diferentes países el proceso de realización de los cálculos debido a la posición de cada uno de estos. Este procedimiento varía en regiones debido a que la incidencia solar no es constante, a su vez, las horas solares que se tienen en estos lugares varían considerablemente. Así que, Guatemala tiene sus propios requerimientos para realizar un dimensionamiento de este tipo de proyectos fotovoltaicos, razón de la existencia de la actual investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

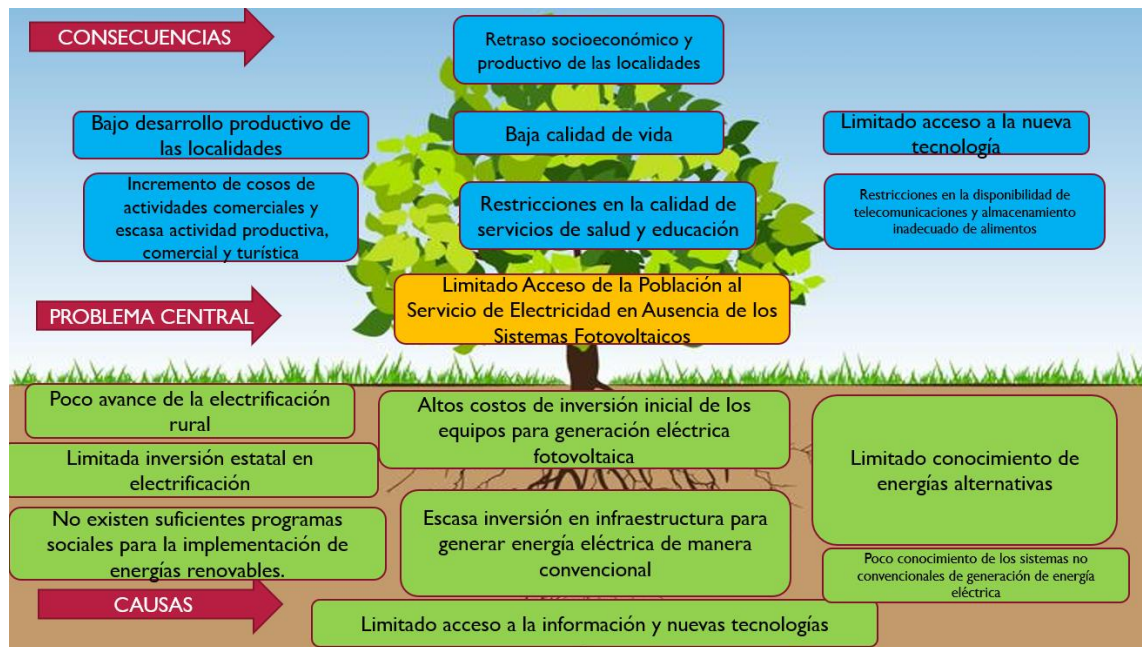
El constante daño y deterioro del planeta ha iniciado y planteado una búsqueda de energías alternativas que permitan sustituir a la energía proveniente de combustibles fósiles ya que estas representan un gran impacto en el calentamiento global. El mundo se encuentra en una etapa de cambio, transición y renovación energética debido a que se desea dejar de depender de los combustibles fósiles tanto por su impacto como por su escasez.

En Guatemala la producción de energía eléctrica proviene principalmente del aprovechamiento hídrico del país. No obstante, la energía hidroeléctrica no tiene la capacidad de suplir toda la demanda del país y tampoco es constante su producción debido a que esta depende del clima. Así pues, el país tiene una dependencia de producción eléctrica a partir de los combustibles fósiles, principalmente el carbón. Esto resulta desventajoso por dos razones: Guatemala no es un país que cuente con este combustible, si no que todo es importado y la otra razón es que la contaminación proveniente de estos recursos es perjudicial para el país y el planeta.

La demanda energética seguirá creciendo conforme el país se vaya desarrollando favorablemente, por lo cual se ve un problema al tener dependencia en los recursos fósiles. A su vez, el desperdicio de energía, la inexistencia de una normativa de eficiencia energética en empresas, la despreocupación por la utilización de energía, falta de mantenimiento y falta de inversión provocará un problema de gran magnitud en el medio ambiente y

aumento de las tarifas eléctricas si no se cuenta con un plan alternativo para hacer frente al mismo.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint.

3.2. **Formulación del problema**

Por tal razón, adoptar la energía renovable se presenta como una solución ideal ante tal situación debido a que el costo de estas se ha ido reduciendo, así como el potencial fotovoltaico que tiene el país es una de las razones para tener en cuenta. Además, la electrificación del país no ha logrado abastecer a todas las comunidades del país, siendo un inconveniente dado que se tiene un retraso en la productividad de las personas pertenecientes a estas comunidades, así como no cumplen con los estándares de calidad de vida. Por lo cual, llevar la

electricidad a todas las regiones del país debe ser un objetivo principal, de manera que se impulse el desarrollo de las comunidades.

A las empresas o personas individuales para sus hogares se les facilita la inclusión de sistemas de energía renovable para suplir con la demanda energética propia, de manera que mejoran su calidad de vida y productividad económica. Sin embargo, este es un proyecto con poco ánimo de inversión debido al desconocimiento de este. La inclusión de estas fuentes de energía renovable requiere de inversión de recursos técnicos, económicos y humanos que en muy pocas ocasiones se está dispuesto a iniciar o en posición de adoptar. Esta no es la única razón, sino que el desconocimiento de los beneficios o el no poder dimensionar o plantear la conexión de los sistemas fotovoltaicos para sus requerimientos juega un papel importante y provoca una disminución del interés para adoptar estas tecnologías.

- Pregunta central

¿Cómo se puede promover la implementación de sistemas fotovoltaicos híbridos en viviendas unifamiliares de Huehuetenango?

- Preguntas auxiliares

- ¿Qué factores se deben tomar en cuenta para el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido?
- ¿Qué beneficios trae consigo un buen diseño de un sistema fotovoltaico híbrido tanto para el ambiente como para las viviendas unifamiliares de Huehuetenango que los implementan?

- ¿Cuál sería un esquema ordenado y detallado para la realización de proyectos fotovoltaicos híbridos en las viviendas unifamiliares de Huehuetenango?

3.3. Delimitación del problema

Las comunidades rurales del país no cuentan con la información u oportunidades para implementar estos sistemas, es poco el conocimiento que tienen sobre sistemas alternativos a la red eléctrica. Por lo tanto, para que el progreso se dé en estos lugares, es necesario que se cumplan dichos elementos. El problema se delimita a las comunidades rurales debido a que la proliferación de la información es más reducida, por lo que no cuentan con las herramientas para implementar estos sistemas. Es así como con una metodología se espera que esta información logre suplir parte de estas deficiencias.

4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la energía eléctrica es un pilar fundamental para una buena calidad de vida, así como para el impulso de la economía del país. La electrificación rural es uno de los retos principales para mejorar la productividad y calidad de vida de los habitantes del país, debido a que es necesario poder brindar oportunidades y herramientas. La energía renovable ha tomado un mayor impulso en la actualidad debido a que se presenta como una alternativa que promueve la protección del medio ambiente mientras que permite la electrificación en comunidades aisladas.

Cabe resaltar que la emisión de gases de efecto invernadero es uno de los principales obstáculos a enfrentar como sociedad, los cuales provienen mayormente de la utilización de los combustibles fósiles para las diferentes actividades que lo requieran. Entre estas actividades se encuentra la producción de energía eléctrica a través de estos combustibles.

Por esta razón, es necesario promover las tecnologías que permitan el aprovechamiento de la energía renovable. Guatemala cuenta con un aprovechamiento de energía hidroeléctrica muy extendido por todo el país, no obstante, no aprovecha al máximo el resto de las tecnologías de energía renovable. El aprovechamiento del recurso eólico y solar no se ha desarrollado a pesar de que este tipo de tecnologías hayan reducido sus costos en la actualidad. Así, el principal objetivo de esta metodología es poder guiar y fomentar el tipo de proyectos fotovoltaicos como principal herramienta de producción de energía eléctrica para que sea implementada en las comunidades rurales de Guatemala que lo vean viable.

Tal y como indica el Ministerio de Energía y Minas (2018) en Guatemala es un país con un gran potencial en energía solar, debido a su ubicación geográfica, el valor promedio de radiación solar global para el país es de 5.3 kWh/m²/día, el cual es muy superior a la mayoría de los demás países. A su vez, en Guatemala la Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, Decreto 52-2003 y su reglamento Acuerdo Gubernativo No. 211-2005 permiten tener beneficios para ejecutar esta clase de proyectos en una escala superior y la Ley de auto productores para proyectos pequeños.

Los sistemas fotovoltaicos no emiten gases tóxicos o gases de efecto invernadero que afectan al planeta en su proceso de generación eléctrica, es decir que son sistemas más ecológicamente positivos que la generación por combustibles fósiles. Por lo cual, esta guía facilitará el uso de energía fotovoltaica, ayudando en el desarrollo y crecimiento de la utilización de energía renovable en todo el país. De igual manera, si se implementa un sistema solar fotovoltaico es posible recuperar la inversión en estos sistemas a través de un ahorro mensual de la factura eléctrica y poder optar a una producción autónoma, es decir que se evite el paro por cortes de luz del sistema convencional. Agregado a esto, con este tipo de sistemas es posible reducir la inestabilidad del voltaje en horas pico a través de la implementación de GDR puesto que entrarían a suplir dicha falta.

Sin importar la razón por la cual se desee optar y apostar por un sistema de generación eléctrica, este trae consigo una serie de beneficios tanto para el planeta como para los individuos. Esta metodología tiene la principal razón de guiar y aconsejar a la elección de un sistema que se adapte a los requerimientos del usuario final, aportando ideas y características. De forma que se apoyen las iniciativas que busquen la implementación de tecnologías que aprovechen los recursos naturales renovables.

En parte, la energía solar fotovoltaica es la tecnología más prometedora ya que aprovecha un recurso ilimitado y disponible en gran cantidad, así como que es menos contaminante, tiene un mantenimiento muy leve y no cuenta con partes móviles que deban ser monitoreadas. Puede ser instalada en casi cualquier parte del mundo que tenga acceso a la luz del Sol. Lo que su implementación a mayor escala conllevará una serie de ventajas tanto para la red pública como para los usuarios debido a que generarán su propia electricidad sin limitaciones de uso de forma segura y rentable.

La maestría tiene como ejes fundamentales lo relacionado con energía y ambiente, por lo cual, al realizar esta metodología, es posible implementar la línea de energía renovable a través del marco legal y aplicación de los conceptos relacionados a su forma de desarrollo en toda Guatemala, respetando la normativa ambiental para la protección de los ecosistemas del país a la vez que se beneficia la población.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Elaborar una metodología para el dimensionamiento de proyectos fotovoltaicos híbridos para viviendas unifamiliares en Huehuetenango.

5.2. Específicos

- Determinar los factores críticos para el diseño apropiado del sistema fotovoltaico híbrido.
- Detallar los beneficios técnico-económicos que un buen diseño de los sistemas fotovoltaicos híbridos puede proporcionar a las viviendas unifamiliares en Huehuetenango una vez se implementen.
- Definir un sistema ordenado de pasos y consideraciones para la implementación de los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico híbrido para las viviendas unifamiliares en Huehuetenango.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente trabajo pretende identificar si un diseño de investigación para la implementación de un sistema solar híbrido en viviendas unifamiliares de áreas rurales en Huehuetenango es fundamental para el desarrollo y mejoramiento de calidad de vida de la población de dichas comunidades. Al concluir con una metodología, la implementación de los sistemas solares híbridos en Guatemala se masificará debido a la innovación de estos sistemas. De manera que se logre incrementar la adopción de energía renovable y poco contaminante, permitiendo un avance para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo renovable.

Para la realización del dimensionamiento se necesita establecer una serie de pasos. Primeramente, se debe especificar el área a realizar el proyecto para poder obtener el valor de irradiación solar mensual del lugar a través de una herramienta en línea. Luego, se establece el consumo eléctrico anual a cubrir para realizar el cálculo de los paneles solares y baterías necesarias para cubrirlo en su totalidad. Después, se muestran las propiedades y características de los equipos para la mejor selección técnico-económico posible. Para finalizar con las consideraciones de instalación que se debe tomar en cuenta en cada localización necesaria en las comunidades rurales.

La implementación de sistemas solares fotovoltaicos ha tenido un auge en los últimos años. Es una tecnología de aprovechamiento de energía renovable que ha logrado tomar un segmento de la producción eléctrica debido a su facilidad de instalación. La diferenciación de esta metodología es por el hecho de que puede operar tanto con la red nacional como aislada. De manera que, mientras se tenga red disponible, no se utilizará la energía de las baterías, en

caso de no haber red, se utilizará la energía de respaldo para la operación de este. Así, se tendrá la posibilidad de tener un sistema de energía eléctrica constante en los procesos que sean extremadamente necesarios.

Derivado de que la Maestría en Energía y Ambiente tiene un eje principal en la implementación de tecnologías que aprovechen la energía renovable, logrando una transición hacia una electrificación verde. A su vez, se tiene la ventaja de la protección del medio ambiente ante la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales son realmente dañinos para el planeta. Así, se permite que las comunidades tengan una mayor cantidad de opciones para obtener la tan esperada electrificación rural, generando en su misma localización para su máximo aprovechamiento y sentido de pertenencia de la comunidad, logrando que estén de acuerdo y deseen cuidar el equipo debido a sus beneficios.

Al tener conocimientos especializados en ingeniería eléctrica y con cursos extra sobre energía renovable solar, este proyecto contempla un punto importante para la masificación de la implementación de esta clase de proyectos tanto por su facilidad de didáctica, así como la forma de presentación de la información necesaria de los requerimientos.

6.1. Esquema de solución

En el presente proyecto se tiene como finalidad el definir una metodología para el diseño de sistemas fotovoltaicos híbridos que sea aplicable por las comunidades rurales de Guatemala para la electrificación de sus instalaciones. Esto derivado a que las comunidades rurales no cuentan con un servicio eléctrico constante y de calidad o simplemente no cuentan con uno, es necesario implementar medidas puntuales para brindar soluciones a este problema. Esto

contribuye al cuidado del medio ambiente e impulso del desarrollo de las sociedades con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del país. Agregado a esto, es necesario considerar la implementación de estos sistemas a varias instalaciones u hogares en conjunto para que sea posible una gran inversión que beneficie a comunidades enteras.

De manera que se realizará una guía con una serie de pasos explicativos de los equipos necesarios para el funcionamiento de estos sistemas, así como las consideraciones para la implementación de estos. A la vez que se describen y colocan en práctica con un ejemplo práctico para su mejor entendimiento. Esto quiere decir que el proyecto por trabajar es una metodología para el diseño de sistemas fotovoltaicos híbridos para las comunidades rurales de Guatemala, logrando un correcto dimensionamiento a partir del consumo eléctrico que estas necesitan cubrir. De la misma manera que se explican y definen los beneficios de implementar esta clase de proyectos en las diferentes ubicaciones. Este proyecto se ejecutará durante el año 2023 y la realización de dicha guía será a partir de una instalación eléctrica con ausencia del servicio eléctrico en el departamento de Huehuetenango y se elaborará el trabajo en programas del paquete Microsoft Office.

7. MARCO TEÓRICO

En la Tierra, una gran porción de la energía que es utilizada por el hombre tiene un origen en el Sol. Las grandes cantidades de energía que son producidas por este llegan a nuestro planeta en forma de radiación directa del Sol. De acuerdo con Orbegozo y Arivilca (2010) “la fusión nuclear tiene lugar en el Sol y llega a la Tierra a través del espacio en forma de paquetes de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie de la tierra” (p. 4). Estos fotones pueden ser altamente aprovechados a través de diferentes métodos para la captación de estos y su cambio.

El mayor interés, en la actualidad, es la conversión de diferentes formas de energía para obtener la energía eléctrica. Es una de las comodidades o facilidades que han ayudado al desarrollo tecnológico y económico de varios países y por ende de la humanidad. Sin embargo, debemos evitar depender de una sola fuente de energía debido a la siguiente particularidad presentada por Barrero (2004) que indica que “la energía eléctrica, a diferencia del agua o el gas, no puede almacenarse económicamente con la tecnología actual, salvo una cantidad muy pequeña mediante baterías” (p.5).

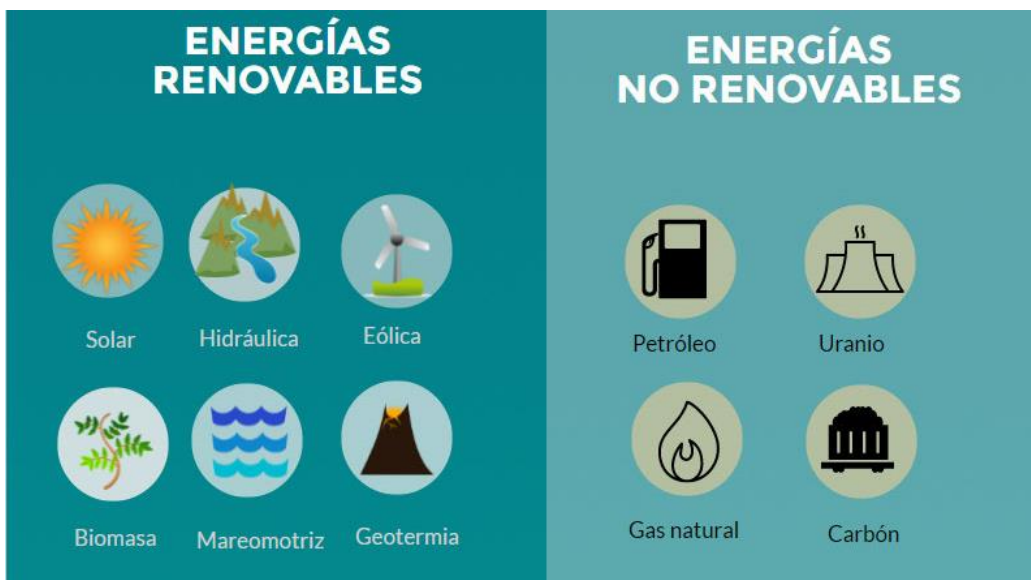
7.1. Fuente de energía

Una fuente de energía es un fenómeno químico o físico cuya energía puede aprovecharse con fines económicos o biofísicos. Hay dos tipos de criterios de clasificación: primitivo, si es causado por un fenómeno natural invariable, por ejemplo, el sol, la biomasa, las corrientes de agua, los vientos y algunos minerales; Y la segunda forma si es el resultado de una transformación

deliberada de los elementos elementales para obtener la forma de energía deseada.

No obstante, existe un segundo criterio, clasificar las fuentes de energía entre renovables y no renovables. Esta clasificación se refiere en mayor medida al aspecto ecológico y ambientalista, ignorando el hecho de que en realidad ninguna fuente de energía carece de impacto ambiental en su uso, pudiendo ser más o menos negativo en distintos ámbitos. A continuación, se describe a mayor detalle dichos términos:

Figura 2. Fuentes de energía



Fuente: Aponte (2020). *Energías renovables y no renovables*.

7.1.1. No renovable

Se refieren a las provenientes de elementos que cuentan con una cantidad limitada de recursos. Han sido las protagonistas de la historia desde la

industrialización. Se trata de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural o el carbón. Se ha demostrado que crean contaminación en el medio ambiente y se están agotando gradualmente.

7.1.1.1. Petróleo

También conocido como oro negro o aceite de piedra, es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos que son insolubles en agua. Se forma en el interior de la tierra por la transformación de la materia orgánica acumulada en los sedimentos del pasado geológico y se obtiene mediante la perforación de pozos.

7.1.1.2. Carbón

Es una roca sedimentaria negra muy rica en carbono y en cantidades variables de otros elementos como hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno.

7.1.1.3. Gas natural

También se le conoce como gas fósil y es una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros de origen natural. Contiene principalmente metano en cantidades diferentes a otros compuestos. Se compone de múltiples capas de materia vegetal y animal en descomposición que ha estado expuesta a un intenso calor y presión debajo de la superficie durante miles de años.

7.1.2. Renovable o alternativa

Define aquellos derivados de recursos naturales inagotables, es decir, aquellos cuyas reservas no han disminuido significativamente durante el período de desarrollo. Entre este tipo de fuentes de energía se encuentran los siguientes:

7.1.2.1. Energía eólica

Es el aprovechamiento de la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética de las masas de aire. Hoy en día, esta energía se emplea en gran medida para la generación eléctrica mediante turbinas aerogeneradores que van conectados a la red eléctrica. Por lo tanto, estos parques eólicos se presentan como competitiva y de bajo costo.

7.1.2.2. Energía hidráulica

A menudo se le conoce como energía hidroeléctrica y esta energía proviene de ríos y arroyos de agua dulce. La energía eléctrica se produce a partir de energía hidroeléctrica y se está desarrollando rápidamente en la actualidad.

7.1.2.3. Energía mareomotriz

Su uso se basa en la utilización de un alternador que genera electricidad de forma segura y aprovechable en función del movimiento de las mareas.

7.1.2.4. Biomasa

Es aquella obtenida a través de materia orgánica. A través de distintos procesos, es posible la obtención de energía en distintas formas.

7.1.2.5. Energía solar

La radiación solar, tiene el siguiente significado según García, Sepúlveda y Ferreria (2018):

Es el grupo de ondas electromagnéticas que convergen en la Tierra desde el Sol, expresadas en unidades de energía en un área o superficie (W/m^2). Esta radiación que converge en la atmósfera no es constante, pues es dependiente de las distancias máximas y mínimas que alcanza la Tierra en su órbita alrededor del Sol. (p. 20)

Existen dos principales tecnologías que permiten el aprovechamiento de esta clase de energía: solar fotovoltaica y solar térmica. Se describe la energía solar fotovoltaica, la cual es la de mayor interés para el presente documento

Para Puig y Jofra (2019):

La recolección directa de electricidad de la luz se llama efecto fotoeléctrico. Para conseguirlo necesitamos un material que absorba la luz solar y pueda convertir la energía radiante absorbida en energía eléctrica, que es exactamente lo que pueden hacer las células fotovoltaicas. (p. 8)

7.2. Sistema fotovoltaico

El sistema FV es el grupo y trabajo en conjunto de componentes eléctricos para lograr el cambio de un tipo de energía (solar) en otro (eléctrica) con el fin de que pueda emplearse para cualquier aparato o dispositivo eléctrico.

Es necesario conocer según Patiño, Tello y Hernández (2013):

A raíz de que la radiación solar es no constante y solo está disponible durante una parte del día, el sistema FV debe escalarse de acuerdo con la potencia requerida (por los dichos dispositivos), basado en el consumo y las horas de operación, ya que se supone que el dimensionamiento de energía se basa en una fuente de corriente continua. (p. 30)

A la vez que se presenta como un sistema innovador y respetuoso con nuestro ambiente, es necesario conocer que estos son un alivio y solución para aquellas personas de escasos recursos o que se ubican en lugares donde aún no ha llegado la electrificación rural en el país.

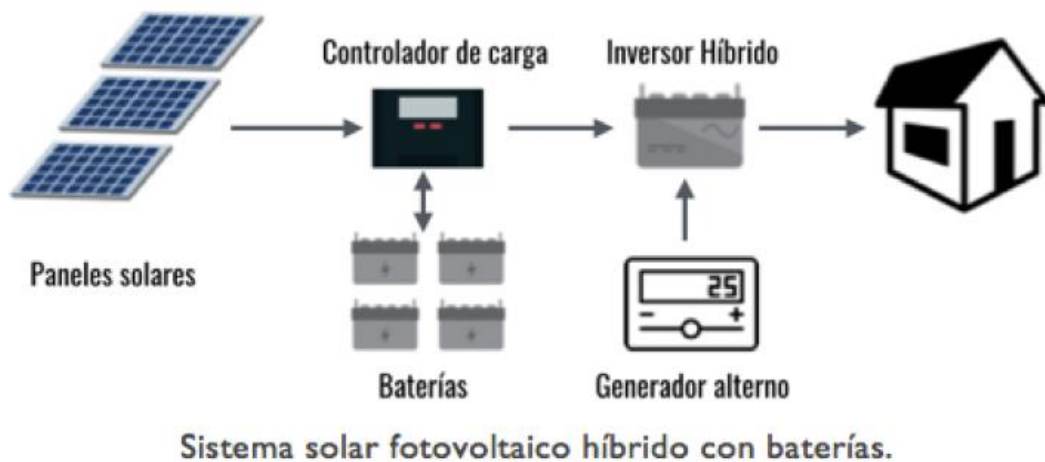
Como lo describe Ostos, Collazos, Castellanos y Fernández (2017):

La instalación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del país es una alternativa potencial a la red nacional. Influye de gran manera en el bienestar del usuario, independientemente de la potencia, se obtiene energía de óptima calidad, aumenta la vida útil de los equipos, sensibiliza el consumo de los usuarios hacia la conservación de la energía. (p. 50)

Lo cual se debe considerar para brindar un mejor asesoramiento debido a la situación y opciones que cada usuario pueda tener en su instalación. Logrando una mejor comprensión de las necesidades y detalles que un buen diseño fotovoltaico requiere. De manera que, sea posible ayudar a la mayor cantidad de personas.

Los componentes eléctricos básicos de un sistema fotovoltaico son: paneles solares, inversor, centro de carga y medidor bidireccional. A continuación, se detallan los diferentes elementos que componen a un sistema fotovoltaico.

Figura 3. **Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido**



Fuente: Rodríguez (2019). *Beneficios de la energía fotovoltaica para la optimización de recursos a nivel empresarial.*

7.2.1. **Esquema de la generación fotovoltaica**

Para el funcionamiento de un sistema fotovoltaico híbrido es necesaria la unión de varios componentes. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de los elementos que lo componen.

7.2.1.1. **Célula fotovoltaica**

Son elementos que convierten la luz del sol directamente en energía eléctrica por medio del efecto fotoeléctrico. Algunos materiales pueden absorber

fotones y liberar electrones, lo cual tiene como producto una corriente. Los materiales elegidos para el funcionamiento de las celdas son los semiconductores, que difieren en rendimiento y composición porque son materiales conductores de luz. Los paneles solares son estructuras que contienen múltiples celdas solares o celdas que trabajan juntas para producir un voltaje eléctrico más alto, por lo que algunos paneles contienen 36 o más celdas.

7.2.1.2. Paneles solares

También conocidos como módulos fotovoltaicos, según la definición de Perpiñán (2013) “el módulo fotovoltaico es un enlace a las células que protegen físicamente contra la intemperie y el aislamiento externo, proporcionando rigidez mecánica para el conjunto” (p. 7). Debido a la presencia de distintos tipos de células y eficiencias, por consiguiente, existen diferentes tipos de paneles solares como se enlistan a continuación:

- **Monocristalino:** está formado por células monocristalinas. Son de color negro intenso y tienen esquinas cortadas distintas. Son un 15-25 % más eficientes que otros modelos. Su vida útil es más larga, ya que pueden durar hasta 25 años.
- **Policristalino:** está formado por células policristalinas. Su color es verde oscuro. Es más barato, pero por lo tanto menos efectivo. Ahora es posible reducir las pérdidas por reflexión y mejorar así la captación de luz.
- **Capa fina:** este es otro modelo, que consiste en una placa cortada a medida y su fabricación es más sencilla, lo que explica su precio. Son muy versátiles y se pueden adaptar a cualquier tipo de superficie, por eso cada vez son más populares.

De manera que, tal y como se detalla por Salazar, Pichardo y Pichardo (2016):

Un módulo fotovoltaico es un artículo disponible comercialmente. A su vez, estas unidades se conectan en paralelo y/o en serie para lograr el voltaje y la corriente que dan la potencia requerida. Las unidades en serie aumentan el voltaje manteniendo la misma corriente, mientras que las unidades en paralelo aumentan la corriente manteniendo el mismo voltaje. (p. 20)

7.2.1.3. Inversores

Este es el cerebro y el componente básico de la conversión fotoeléctrica porque permite el uso de estos módulos. Además, esto permite optimizar la obtención de energía en el sistema fotovoltaico y así, lograr la obtención de la mayor eficiencia de cada panel solar para el autoconsumo.

7.2.1.4. Controlador de carga

Es una parte muy importante de la instalación fotovoltaica porque es el encargado del monitoreo constante del estado de las baterías en su carga, a la vez de ajustar la fuerza de carga de estas. Esta mejora la eficacia de los sistemas FV y prolonga el tiempo de vida de los dispositivos de almacenamiento de energía, lo cual es fundamental en instalaciones aisladas o aisladas. De momento, algunos adaptadores ya cuentan con este regulador de carga.

Los reguladores o controladores de carga cuentan con tecnología avanzada que les permite adaptarse automáticamente a las instrucciones establecidas por la batería, sin embargo, muchos parámetros se pueden configurar manualmente.

Este dispositivo realiza dos funciones principales:

- Protección de la batería solar contra sobrecarga o descarga profunda. Cuando la batería se carga en su totalidad, el controlador la desconecta del sistema. Por otro lado, si su carga está bajo el umbral límite, este se desconectará de la red y no se volverá a utilizar, lo que impide su uso posterior y, por lo tanto, prolonga la vida de los ciclos de carga.
- Protección de la batería contra sobrevoltajes en la situación donde la batería tenga una tensión superior a la del panel debido a la lluvia diurna y nocturna. Luego, vela para evitar el flujo de corriente en dirección inversa y evitar que se dañen.

7.2.1.5. Baterías

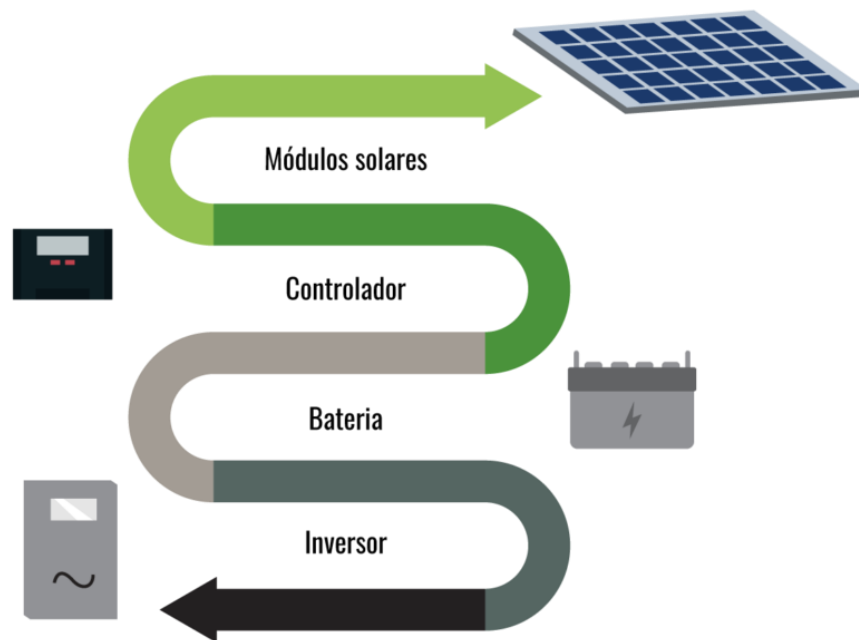
Estos son los elementos que permiten guardar la electricidad generada por los paneles FV para su uso durante la noche o cuando está nublado. Estos permiten proporcionar una corriente superior a la corriente que puede proporcionar el panel fotovoltaico en pleno funcionamiento.

La forma en que almacenan energía es de la siguiente manera: las baterías transforman la energía eléctrica que proporcionan los módulos/paneles fotovoltaicos en energía química. La conversión es producto de la reacción que se obtiene cuando dos materiales diferentes se sumergen en un electrolito, el cual es una solución de ácido sulfúrico y agua.

Luego, cuando es necesario y se cierra un circuito entre los polos positivo y negativo de la batería, la electricidad fluirá. Conforme se descarga la batería, la

composición del plomo de las placas es más parecida y disminuye la densidad del ácido y la tensión entre bornes disminuye.

Figura 4. **Elementos que componen un sistema fotovoltaico híbrido**



Fuente: Rodríguez (2019). *Beneficios de la energía fotovoltaica para la optimización de recursos a nivel empresarial.*

7.2.2. **Funcionamiento del sistema fotovoltaico**

La forma en que opera un sistema fotovoltaico es posible gracias a los paneles solares, estos forman una parte crucial en la generación de la potencia, pero no son los únicos. Es necesario que esa energía sea convertida en corriente alterna debido a que no puede utilizarse convencionalmente ya que los paneles solares producen corriente directa. El inversor es el encargado de realizar esta tarea previamente dicha, es la pieza clave del sistema fotovoltaico.

El inversor necesita soportar toda la potencia que producirán estos paneles FV y también de adaptarse al sistema eléctrico en cuestión. A su vez, dependiendo del tipo de instalación fotovoltaica, es necesario que se cuente con controladores de carga para las baterías. Las baterías son empleadas en sistemas aislados o autónomos y en los híbridos, con el fin de poder emplear energía almacenada durante el día. Por último, se cuenta con un medidor bidireccional que, nuevamente, es opcional dependiendo del tipo de instalación que se desee emplear; este se utiliza en las instalaciones híbridas y las interconectadas a la red eléctrica.

7.2.3. Tipos de sistema fotovoltaico

Es de suma importancia definir todas las variantes existentes de las opciones que un sistema fotovoltaico nos brinda. De tal manera, es posible seleccionar aquella solución que mejor se adapte.

7.2.3.1. Autónomo o aislado de la red

Es la solución o alternativa técnica ante el problema de que no haya conexión a la red en ciertas ubicaciones. No obstante, también puede ser empleado cuando una persona no quiere verse involucrado con la empresa eléctrica y quiere ser autosuficiente, aunque no se recomienda. Este tiene la particularidad de que necesita de baterías para poder operar en la noche con la energía que se recolecta.

Tal como comenta Cadena, Friman, Toranzos y Vera (2012):

A través del empleo de un dispositivo dedicado al trazado que se basa en la carga híbrida, es posible obtener curvas de voltaje-corriente de igual o

mejor calidad que las requeridas para el trabajo de campo, lo que lo convierte en una gran herramienta que permite verificar y detectar errores en sistemas autónomos. (p. 37)

7.2.3.2. Interconectado a la red

Es un sistema que está diseñado para poder conectarse a la red como un producto de fabricación propia. En este caso, lo que generan los paneles puede ser utilizado por la carga de la instalación y el excedente puede inyectarse a la red, generando un crédito antes de que la empresa lo reemplace con energía cuando los paneles fallen. Puede proporcionar lo que se necesita. Se necesita un contador bidireccional para realizar este conteo. Para un uso económico, este es el sistema más práctico y recomendado ya que no requiere baterías para funcionar.

7.2.3.3. Híbrido

Es una mezcla de autónomo e interconectado a la red. En este caso, se emplea el mismo principio que el interconectado a la red, puesto que se produce con los paneles solares para utilizar en las cargas o para cargar baterías y emplearlas en la noche. No obstante, no se está desconectado de la red totalmente. Se cuenta con un medidor bidireccional y un sistema para inyectar a la red si hay un sobrante o demandar de la red por si no se puede suplir la demanda energética únicamente con paneles y baterías.

7.3. Marco conceptual

Es necesario definir varios conceptos importantes para comprender en su totalidad el sistema fotovoltaico. Para esto, se describen los términos esenciales para dimensionar el sistema de la mejor manera posible.

7.3.1. Consumo eléctrico

El consumo eléctrico es posible definirlo como el valor de la totalidad de energía es demandada a un punto concreto de suministro en un periodo determinado. Es decir, es toda la potencia que demandamos en un rango de tiempo (normalmente 30 días) a la empresa de distribución a quien se contrata un servicio determinado.

El consumo se mide normalmente en kWh, y el precio varía dependiendo de la empresa. En Guatemala existen 3 distribuidoras principales, las cuales son: EEGSA, DEORSA y DEOCSA.

Figura 5. Principales empresas distribuidoras en Guatemala



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2022). *Distribuidoras*.

7.3.2. Medición del consumo eléctrico

Para medir el consumo de electricidad, las empresas distribuidoras ponen en marcha un aparato de medición conocido coloquialmente como contador o medidor:

7.3.2.1. Analógico

Son los más comunes, y estos cuentan con un visor donde se ubica un disco con una marca que gira de forma proporcional a la corriente consumida. Estos cuentan el número de vueltas, lo cual es el valor de energía consumida desde su

instalación y se resta de la lectura anterior para obtener el valor mensual consumido.

7.3.2.2. Digital

Estos difieren a los analógicos principalmente por la forma de registrar el consumo. Los analógicos suman la energía consumida en un periodo determinado mientras que el digital contiene un registro por cada hora. Este tipo de contador permite medir el consumo en tiempo real, lo cual facilita la diferenciación entre los tipos de tarifa a través de bandas horarias.

7.3.3. Importancia del consumo eléctrico para el diseño de un sistema solar fotovoltaico

El consumo eléctrico es fundamental para el diseño del sistema solar fotovoltaico debido a que el sistema tiene el objetivo de garantizar cubrir el consumo eléctrico que se tenga a lo largo del año, cabe resaltar que los sistemas fotovoltaicos no prometen potencia eléctrica.

Según indica Gargallo (2018), el consumo eléctrico no es igual debido a que “la situación económica y el clima inciden directamente en la situación energética, provocando diferencias entre el consumo eléctrico de los hogares de los distintos países” (p. 24).

Así pues, es importante contar con estos datos sobre el consumo eléctrico para realizar el mejor diseño posible de cada hogar o instalación eléctrica en general. Para lo cual, se explica la importancia y lograr aplicarla en la mayor medida posible.

7.3.4. Consumo energético requerido

Como se había indicado anteriormente, en cada proyecto es fundamental la cantidad total de consumo eléctrico para el mejor diseño posible. Por lo que este variará de acuerdo con lo analizado para cada situación.

La razón de enfatizar en este aspecto es debido a lo que detalla Abella (2005):

El consumo es una parte importante de un sistema fotovoltaico porque determina el tamaño del sistema (el llamado tamaño del sistema fotovoltaico). En algunos sistemas fotovoltaicos, el consumo se conoce con precisión de antemano, como en los sistemas de telecomunicaciones; Pero en otros casos es muy difícil predecir el consumo de la instalación, como en el caso de las instalaciones eléctricas rurales, donde el consumo viene determinado por la vida de una determinada carga de usuarios. (p. 16)

Así pues, los paneles necesarios para cubrir todo el consumo en el año serán determinados por la potencia del panel y su capacidad de generación diaria de acuerdo con el clima y sus condiciones. Al utilizar los beneficios hacia los auto productores, es posible calcular una manera de cubrir todo el consumo eléctrico en el año y, posteriormente, utilizar la red eléctrica para suplir o compensar las noches o días que no se generan, en caso de estar conectado a la red, o de almacenar la energía suficiente para dicho cometido.

7.4. Generación fotovoltaica

El país cuenta con una posición estratégica global que permite el máximo aprovechamiento de esta clase de energía. Sabiendo esto, es necesario que se

incentive este potencial para que más personas se acoplen al sistema solar fotovoltaico y apoyen al medio ambiente haciendo eso.

Tal y como indica el Ministerio de Energía y Minas (2021) “Guatemala es un país con un gran potencial en energía solar, debido a su ubicación geográfica, el valor promedio de la radiación solar global para todo el país es de 5,3 kWh/m²/día, muy superior a muchos otros países” (p. 1).

El país está ubicado en el Trópico de Cáncer, y para ello no existen cuatro estaciones específicas como en los hemisferios norte o sur, debido a que la cantidad de horas de luz en un año cambia solo en dos horas. Es como las estaciones en el hemisferio norte. Esto significa que el país está en una posición estratégica.

7.4.1. Normativas y reglamentos para sistemas de generación renovables en Guatemala

Guatemala cuenta con varias normativas y reglamentos relacionados con energía renovable con el fin de lograr el fomento a una transición amigable de nuevas tecnologías que ayuden al medio ambiente. De esta manera, se pretende incrementar las oportunidades para la implementación de los proyectos de energía renovable. A continuación, se presentan las normativas, leyes y reglamentos existentes en el país.

7.4.1.1. Ley general de electricidad

La Ley General de la Electricidad es una ley que fue presentada como un proyecto a principios del año 1996 al Congreso de la República y aprobada el 16

de octubre de ese mismo año según el Decreto 93-96. Esta es la ley básica que establece, desarrolla y asegura el sistema eléctrico en Guatemala.

Se organizó de tal manera que ahora el sistema eléctrico nacional brinda seguridad y sostenimiento a largo plazo. Es decir, se fomenta la sana competencia para proveer de energía al país, lo que tuvo un efecto positivo debido a que se ha logrado extender el alcance de la electrificación a casi todo el territorio guatemalteco.

7.4.1.2. Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía -NTGDR-

Esta norma establece los requerimientos generales que los generadores distribuidos renovables y los distribuidores necesitan cumplir para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida a través de fuentes de energía renovables.

7.4.1.2.1. Generación distribuida renovable

Un GDR puede entenderse como la producción de energía eléctrica tal como será consumida, a pequeña o gran escala, esté o no conectada al sistema nacional. La producción eléctrica basada en recursos renovables tiene diversas fuentes tales como: eólica, hidroeléctrica, biomasa, geotérmica y otras que sean determinadas por el MEM. La NTGDR comprende que la generación eléctrica renovable se puede conectar a las redes eléctricas y cuya potencia neta debe ser inferior o igual a 5 MW.

Entre los beneficios que se encuentran en esta normativa está que promueve y facilita la instalación y operación de centrales de generación menores o iguales a 5 MW que utilizan recursos renovables al permitir que se conecten a las redes de distribución.

7.4.1.2.2. Usuario auto productor con excedente de energía

De igual manera, en esta norma se define al usuario auto productor con exceso de energía como el usuario que inyecta electricidad al sistema de distribución. Tiene el requerimiento de que su producción debe basarse en fuentes renovables, además de ubicarse en complejos de consumo y aceptar el no recibir remuneraciones por estos excedentes.

7.5. Beneficios del sistema solar

Un sistema solar cuenta con varios beneficios debido a que es una energía renovable, lo cual quiere decir que es inagotable para su utilización. El Sol tiene una larga vida útil todavía, por lo cual puede ser utilizado en la mayor medida posible.

Acerca de sus beneficios Rodríguez (2019) detalla:

La llegada de las células fotovoltaicas aporta autonomía, ahorro y respeto por el medio ambiente, entre otras ventajas de producir estas formas de energía. Por esta razón, el gerente de la empresa tiene la oportunidad de hacer que su empresa se beneficie de los ahorros económicos a largo plazo que resultan del despliegue parcial o completo del sistema fotovoltaico. (p. 30)

Con lo cual explica que es posible implementar este tipo de tecnología para generar energía eléctrica que, por consiguiente, nos representará un beneficio económico dada su implementación. De manera que, es conveniente la aplicación de esta.

7.5.1. Disminución del consumo de energía de la red

Este beneficio no debe confundirse con que se dejará de consumir energía eléctrica, si no que se refiere puramente a sistemas interconectados a la red, puesto que el sistema solar proveerá de energía eléctrica a los dispositivos, por lo cual el contador eléctrico no registrará lo que se consume a partir de los paneles solares. Así pues, la factura eléctrica indicará un consumo de energía.

7.5.2. Crecientemente competitiva

El poder adquisitivo de esta tecnología ha aumentado hasta el punto de que este tipo de sistema solar se puede implementar en cualquier parte del mundo, cuando sea factible, y lograr un retorno de la inversión después de un cierto período de tiempo. Actualmente, una serie de empresas se especializan en el suministro, instalación y mantenimiento de paneles solares para que brinden el mayor beneficio económico y ambiental posible.

7.5.3. No contaminante

Es una de las mayores razones para la adopción de este tipo de tecnologías, puesto que nos encontramos en un punto de no retorno ante el creciente cambio climático.

De acuerdo con lo enunciado por Díaz, Gil, Otálora y Vargas (2019):

Los paneles solares generan energía eléctrica sin emitir ningún tipo de contaminantes, lo cual es una de sus principales ventajas ambientales, ya que ayuda a mejorar la huella de carbono en el medio ambiente, y esto puede ocurrir por una interacción entre los paneles solares ligeros y los componentes químicos que los componen. levantar celdas fotovoltaicas. Las células se fabrican, lo que se conoce como efecto fotovoltaico, lo que indica que la energía eléctrica se puede almacenar y utilizar según sea necesario, lo que se denomina sistema aislado o se transmite directamente desde el panel solar a la red a través de la conexión del sistema. (p. 14)

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. Energía

2.1.1. Fuentes de energía

2.1.1.1. No renovable

2.1.1.1.1. Petróleo

2.1.1.1.2. Carbón

2.1.1.1.3. Gas natural

2.1.1.2. Renovables o alternativas

2.1.1.2.1. Energía eólica

2.1.1.2.2. Energía geotérmica

2.1.1.2.3. Energía hidráulica

2.1.1.2.4. Energía mareomotriz

2.1.1.2.5. Biomasa

2.1.1.2.6. Energía solar

2.2. Sistema fotovoltaico

2.2.1. Definición

2.2.2. Elementos de la generación fotovoltaica

2.2.2.1. Célula fotovoltaica

2.2.2.2. Paneles solares

2.2.2.3. Inversores

2.2.2.4. Controlador de carga

2.2.2.5. Baterías

2.2.3. Funcionamiento del sistema fotovoltaico

2.2.4. Tipos de sistema fotovoltaico

2.2.4.1. Autónomo o aislado de la red

2.2.4.2. Interconectado a la red

2.2.4.3. Híbrido

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Consumo eléctrico

3.1.1. Medición del consumo eléctrico

3.1.1.1. Analógico

3.1.1.2. Digital

3.1.2. Importancia del consumo eléctrico para el diseño de un sistema solar fotovoltaico

3.1.3. Consumo eléctrico requerido

3.2. Generación fotovoltaica

3.2.1. Potencial fotovoltaico en Guatemala

3.2.2. Normativas y Reglamentos para Sistemas de Generación Renovables en Guatemala

3.2.2.1. Ley General de Electricidad

3.2.2.2. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía -NTGDR-

3.2.2.2.1. Generación distribuida renovable

3.2.2.2.2. Usuario auto productor con excedente de energía

3.2.2.3. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable

3.3. Beneficios del sistema solar

3.3.1. Disminución del consumo de energía de la red

3.3.2. Creciente competitividad

3.3.3. No contaminante

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Características del estudio

4.1.1. Diseño

4.1.2. Enfoque

4.1.3. Alcance

4.1.4. Unidad de análisis

4.2. Variables

4.3. Fases del desarrollo de la investigación

4.3.1. Fase 1: exploración de la investigación

4.3.2. Fase 2: análisis de datos recopilados

4.3.3. Fase 3: diseño del sistema fotovoltaico híbrido

4.3.3.1. Características del área de estudio

4.3.3.1.1. Clima

4.3.3.1.2. Potencial fotovoltaico

- 4.3.3.1.3. Cálculo de la inclinación y orientación
- 4.3.3.1.4. Área disponible para instalación de módulos solares
- 4.3.3.2. Módulos fotovoltaicos por instalar
 - 4.3.3.2.1. Módulos fotovoltaicos por instalar
 - 4.3.3.2.2. Especificaciones de los módulos (kw/m²)
 - 4.3.3.2.3. Características eléctricas
 - 4.3.3.2.4. Cálculo de la distancia entre paneles solares
- 4.3.3.3. Determinación de la potencia por instalar
 - 4.3.3.3.1. Requerimientos de potencia y energía
 - 4.3.3.3.2. Potencia y energía estimada generada
- 4.3.3.4. Inversor de voltaje
 - 4.3.3.4.1. Parámetros del inversor de voltaje
 - 4.3.3.4.2. Equipos recomendados

- 4.3.3.5. Cálculo del almacenamiento de energía
 - 4.3.3.5.1. Elección de baterías
 - 4.3.3.5.2. Dimensionamiento del banco de baterías
 - 4.3.3.5.3. Equipo recomendado
- 4.3.3.6. Consideraciones para la puesta a tierra según NEC 2008 NFPA-70/250
- 4.3.3.7. Dimensionamiento de canalizaciones y conductores en AC y DC
 - 4.3.3.7.1. Conductores
 - 4.3.3.7.2. Efecto de la temperatura en el conductor
 - 4.3.3.7.3. Cálculo de sección de conductores en DC
 - 4.3.3.7.4. Requisitos y recomendaciones para conductores en DC
 - 4.3.3.7.5. Cálculo de sección de conductores en AC
 - 4.3.3.7.6. Requisitos y recomendaciones para conductores en AC

- 4.3.3.7.7. Dimensionamiento de la canalización
- 4.3.3.7.8. Cálculo de tubería
- 4.3.3.8. Cálculo de protecciones eléctricas
 - 4.3.3.8.1. Protección contra cortocircuitos y sobrecargas
 - 4.3.3.8.2. Protección contra armónicos
 - 4.3.3.8.3. Protección contra transitorios
 - 4.3.3.8.4. Protección por descargas electro atmosféricas

5. RESULTADOS

- 5.1. Fase 4: Propuesta Económica de Inversión
 - 5.1.1. Costo de la inversión
 - 5.1.1.1. Costo de equipos del sistema fotovoltaico
 - 5.1.1.2. Costo de la instalación e implementación
 - 5.1.1.3. Costo de mantenimiento predictivo y preventivo
 - 5.1.2. Beneficios de la inversión
 - 5.1.2.1. Ahorro total estimado
 - 5.1.2.2. Beneficio no monetario
 - 5.1.3. Análisis de recuperación de inversión y factibilidad
 - 5.1.3.1. TIR

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Diseño final

6.1.1. Proyección de rendimiento anual

6.1.2. Plan de mantenimiento

6.1.3. Plan de implementación

6.2. Proyección de tiempo de recuperación de inversión

6.3. Beneficios

6.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación por realizar pretende utilizar el método empírico de tipo experimental debido a que se trata de un diseño de investigación para observar la factibilidad de implementar un sistema híbrido solar fotovoltaico en una residencia. De esta forma se tendrá un diseño no experimental debido a que no se pretende poner en marcha el proyecto como tal, sino que mostrar la viabilidad de este y los beneficios que pueda tener. De manera que las personas pertenecientes a la residencia decidan colocar o no su sistema.

9.1. Características del estudio

El enfoque propuesto para este estudio es mixto, debido a que se emplearán variables cuantitativas y cualitativas debido a que se elaborará un entregable que muestre los beneficios tanto económicos como ambientales que la puesta en marcha de un proyecto de este tipo trae consigo. Así, pues, se tiene planteada la utilización de variables continuas para mostrar el diseño del sistema solar necesario para cubrir con las necesidades básicas que se tengan en la instalación, además del beneficio económico proyectado gracias a la simulación del rendimiento del sistema en dicho lugar. Mientras que, se emplearán variables cualitativas nominales para demostrar los beneficios ambientales positivamente ecológicos. De manera que se pueda fomentar la implementación a mayor escala de estos sistemas alrededor del país.

El paradigma por trabajar se basa en el positivista debido a que se busca explicar la realidad a través de cantidades y enumeración de beneficios que trae consigo este tipo de sistemas. De igual manera, se emplea un tipo de alcance de

investigación explicativa dado que se busca una explicación y determinación de los fenómenos. Se aplicarán estudios de tipo predictivo en donde se pretende establecer una relación de causa entre diversas variables.

9.2. Unidad de análisis

La unidad de estudio será una residencia en el departamento de Huehuetenango, el consumo eléctrico y las necesidades que esta tenga. En dicha residencia se cuenta con problemas provocados por la calidad del servicio eléctrico en dicha región. La residencia alberga a 10 personas, las cuales se ven afectadas por los cortes de suministro eléctrico debido a que su medio de subsistencia depende del mismo.

9.3. Variables

Las variables por tratarse en este estudio se describen como se detalla a continuación.

Tabla I. **Desglose de variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Diseño para implementación	Se refiere a un boceto, bosquejo o esquema que se realiza, ya sea mentalmente o en un soporte material, antes de concretar la producción de algo. El término también se emplea para referirse a la apariencia de ciertos productos en cuanto a sus líneas, forma y funcionalidades (Pérez, 2008).	Satisface la demanda Tiempo de recuperación de inversión Pocas pérdidas de potencia en el sistema

Continuación tabla I.

Sistema fotovoltaico híbrido	Un sistema solar fotovoltaico híbrido (conectado a la red con respaldo) abastece los consumos eléctricos de la casa o empresa, los excedentes de energía se pueden vender a la empresa distribuidora, generando ahorros, y ante cortes de energía suple los consumos que se deseen respaldar (Newen Solar, 2021).	Estimación de la reducción de Emisiones de Carbono Estimación del ahorro económico Tiempo de operación del sistema
-------------------------------------	---	--

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Con el fin de obtener resultados certeros, se tomarán datos específicamente de la ubicación en donde se realizará el estudio. De manera que se logre tener una alta precisión para el diseño y se satisfagan todos los requerimientos técnicos. Se llenará la siguiente tabla para documentar las variables por considerar para realizar el diseño:

Tabla II. **Información mínima para diseño**

Parámetro	Dimensional	Resultado
Irradiancia del lugar	W/m ²	
Consumo eléctrico anual	kWh	
Temperatura promedio	°C	
Orientación/Inclinación ideal	°	
Potencia del panel a utilizar	Wp	

Continuación tabla II.

Área disponible	m ²
Factura mensual promedio	Q

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla III. **Recopilación de información**

Parámetro	Descripción
Empresa de energía eléctrica	
Tarifa actual	
Observaciones	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4. Fases del estudio

Con el afán de realizar la investigación de una forma ordenada y coherente a continuación, se describen cuatro fases del estudio.

9.4.1. Fase 1: exploración bibliografía

Esto se realizará a través de recolección de datos y entrevistas a los habitantes del lugar de instalación. Es necesario recopilar la información en sitio para tener un mayor contacto y acercamiento con la comunidad.

9.4.2. Fase 2: análisis de datos recopilados

Posteriormente, se procede al análisis de los datos con el fin de delimitar el alcance del proyecto, verificando las necesidades y definiendo los requerimientos técnicos que se deban cumplir. De esta manera, lograr una visualización más clara del proyecto a implementar, tomando en cuenta las dificultades y obstáculos que se puedan presentar.

9.4.3. Fase 3: diseño del sistema fotovoltaico híbrido

Luego de establecer los requerimientos y obstáculos a través de la recolección, se procede a realizar un análisis numérico para determinar el mejor tipo de proyecto a implementar. A través de programas de diseño y simulación en 3D, se utilizan imágenes satelitales y datos de clima para modelar el sistema de mayor eficiencia y menor tiempo de retorno de inversión.

9.4.4. Fase 4: propuesta de plan de gestión eficiente

Por último, se evaluará una propuesta económica de inversión para la implementación del proyecto, asegurando el tiempo de retorno de inversión, mostrando y enumerando los beneficios económicos y ambientales que tiene la implementación de esta clase de proyectos. De manera que se contemple un plan de acción para la puesta en marcha en el menor tiempo posible de dicho proyecto. Así, es posible llevar un plan para la adquisición de un préstamo.

9.5. Resultados esperados

Se espera obtener un sistema de la más alta calidad y eficiencia que cumpla con los requerimientos técnicos para la maximización de la vida útil del sistema.

Así es posible asegurar un sistema que sea una alternativa viable para la implementación en áreas rurales que no cuenten con un sistema confiable del servicio eléctrico. Además, se apoya al medio ambiente y se logra fomentar la transición hacia la energía renovable, logrando el avance de la sociedad. A su vez, se entrega un manual de operación y mantenimiento que contiene las indicaciones de mayor relevancia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de la investigación planteada, se realizará una recopilación de datos por medio de encuestas y visitas de campo de la siguiente información:

Tabla IV. **Obtención de información de la residencia**

Ítem	Descripción
Nombre del dueño	
Dirección completa	
Coordenadas de ubicación	
Proveedor de servicio de energía eléctrica	
Número de contadores	
Voltajes	
Número de fases	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Al contar con dicha información, se procede a realizar un diseño inicial con un software para la simulación del rendimiento del proyecto con el fin de obtener la siguiente información para completar la tabla.

Tabla V. **Datos de diseño para análisis**

Mes	GHI (kWh/m²)	POA (kWh/m²)	Sombreado (kWh/m²)	Instalado (kWh)	Red (kWh)
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo					
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Luego, se procede a realizar un análisis a través de la comparación entre el consumo histórico de la vivienda y la generación solar simulada, de manera que se tenga una facturación neta y el porcentaje de sustitución que este representa, buscando el 100 % de sustitución en la instalación. Además, es posible realizar una gráfica de consumo vs generación para mayor claridad.

Tabla VI. **Análisis comparativo**

Mes	Consumo Histórico (kWh)	Generación Solar (kWh)	Facturación (kWh)	Porcentaje de Sustitución
Enero				
Febrero				
Marzo				
Abril				

Continuación tabla VI.

Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre
Total
Promedio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Por último, se procede a realizar un comparativo de facturación para determinar el ahorro que se tendrá mensualmente, así como el repago en años del sistema solar para determinar la factibilidad de la implementación de este tipo de proyecto.

Tabla VII. **Comparativo de facturación**

Mes	Dimensional	Sin solar	Con solar
Tarifa			
Consumo	kWh		
Potencia máxima	kW		
Potencia contratada	kW		
Generación solar	kWh		
Neto	kWh		
Consumo de red	kWh		
Cargo fijo	Q/mes		
Costo kWh	Q/kWh		

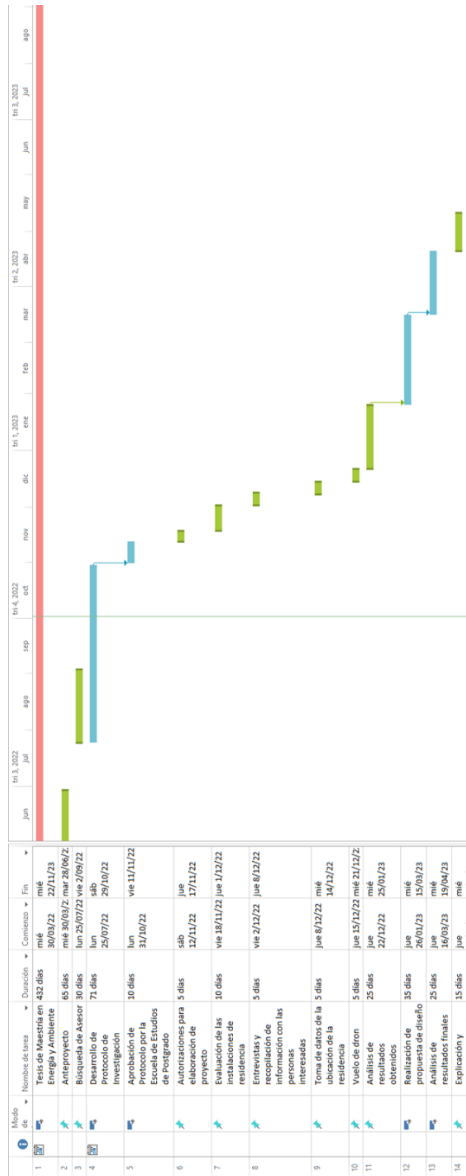
Continuación tabla VII.

Costo de VAD	Q/kWh
Potencia máxima	Q/kW-mes
Potencia contratada	Q/kW-mes
Facturación de energía	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

11. CRONOGRAMA

Tabla VIII. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo una investigación del tipo mixta, se utilizarán los siguientes recursos para la elaboración de esta:

12.1. Recurso humano

Con el fin de la estructuración de los datos necesarios para la investigación se cuenta con el apoyo del recurso humano administrativo y operadores de campo de la empresa que apoya el estudio. Además, se cuenta con el conocimiento y experiencia del asesor y el investigador.

12.2. Permisos y autorizaciones

Para el desarrollo de la investigación se tienen los permisos por parte de los interesados para la utilización de información, así como la disposición del personal y equipo para fines del estudio. La residencia brindará toda la documentación sensible sin ninguna complicación, todo esto con el fin de desarrollar el mejor sistema solar posible.

12.3. Recurso financiero

Se cuenta con ahorros para cubrir los gastos de la investigación. A su vez, se presenta un detalle de los recursos y su precio estimado que serán cubiertos para poder realizar y completar la investigación.

Tabla IX. **Presupuesto**

Recurso	Costo
Muestreo y análisis en sitio	
• Equipo para toma de datos	
• Equipo de protección personal	Q. 2,500.00
• Termografía	
• Estudio de calidad de energía	
Material complementario	
• Dron	Q. 1,500.00
• Computadora	
Levantamiento de información complementaria	
• Tabla apoya manos	
• Papel	Q. 1,500.00
• Lapiceros	
• Marcadores	
Viáticos	Q. 1,500.00
Impresión	Q. 1,000.00
Recurso humano	Q. 2,500.00
Total	Q. 10,500.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

12.4. Acceso a la información

Se dispone de las herramientas para consulta de bibliografía, específicamente bibliotecas virtuales como lo son Google Académico y Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Con todo esto, se tiene estimado poder finalizar la investigación de manera eficiente con la mayor calidad de información posible.

13. REFERENCIAS

1. Abella, M. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*. Madrid, España: S.A.P.T. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=103006>.
2. Aponte, J. (28 de mayo, 2020). Energías renovables y no renovables. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/internacional/2-uncategorised/18710-energias-renovables-vs-energias-no-renovables>.
3. Arrieta, E. (2018). *Diferencia entre método inductivo y deductivo. Diferenciador*. Costa Rica: Autor. Recuperado de: <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>.
4. Barrero, F. (2004). *sistemas de energía eléctrica*. Madrid, España: Paraninfo.
5. Betancourt, D. (19 de diciembre, 2015). ¿Qué es el método DELPHI y cómo se aplica? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.ingenioempresa.com/metodo-delphi/>.
6. Cadena, C., Firman, A., Toranzos, V. y Vera, L. (2012). *Sistema híbrido para la caracterización eléctrica de arreglos fotovoltaicos*. Argentina: – Grupo en Energías Renovables.

7. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (12 de enero, 2022). Distribuidoras. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/distribuidoras/>.
8. Cruz, L. (2021). *Diseño de instalación de un sistema fotovoltaico en red para bajar el consumo eléctrico del local comercial Restobar Jiz*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
9. Díaz, J. Gil, S., Otálora, L. y Vargas, G. (marzo, 2019). Aprovechamiento de la energía solar para el área académica de la escuela de aviación policial mediante un sistema fotovoltaico con conexión a red. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 11(2), 46-59.
10. García, S., Sepúlveda, M. y Ferreira, J. (febrero, 2018). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. *INGE CUC*, 1(14), 41-51.
11. 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 licenciatura). Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia, España. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106520/21790210X_Trabajo.
12. Loaeza, A. Carmona, E. y Tenorio, E. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco* (Tesis de licenciatura). Instituto

Politécnico Nacional, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10766/1/20.pdf>.

13. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. (2021). *Energía solar en Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/07/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>.
14. Orbegozo, C., y Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Green Energy.
15. Ostos, I., Collazos, C., Castellanos, H. y Fernández, C. (enero, 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. Recuperado de <https://doi.org/10.22490/21456453.1847>.
16. Patiño, J., Tello, J., y Hernández, J. (mayo, 2013). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual. *ELEMENTOS*, 2(2). 23-43.
17. Pérez, A. (2022). *Método hipotético inductivo*. México: Autor.
18. Perpiñán, O. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España: Autor.
19. Pisco, J., y Torres, A. (abril, 2021). *Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la Hacienda Quirola*. *Universidad Y Sociedad*,

13(2), 311-317. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1969>.

20. Puig, P. y Jofra, M. (2019), *Solar fotovoltaica*. Barcelona, España: La suma de todos.
21. Rodríguez, C. (2019). *Beneficios de la energía fotovoltaica para la optimización de recursos a nivel empresarial*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/35883>.
22. Salazar, A., Pichardo, A., y Pichardo, U. (septiembre, 2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(511-20), 11-20. Recuperado de https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Investigacion_y_Desarrollo/vol2num5/Revista_de_Investigaci%C3%B3n_y_Desarrollo_V2_N5_2.pdf.
23. Velázquez, A. (2018). *¿Qué es el método Delphi?* Estados Unidos: Autor.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

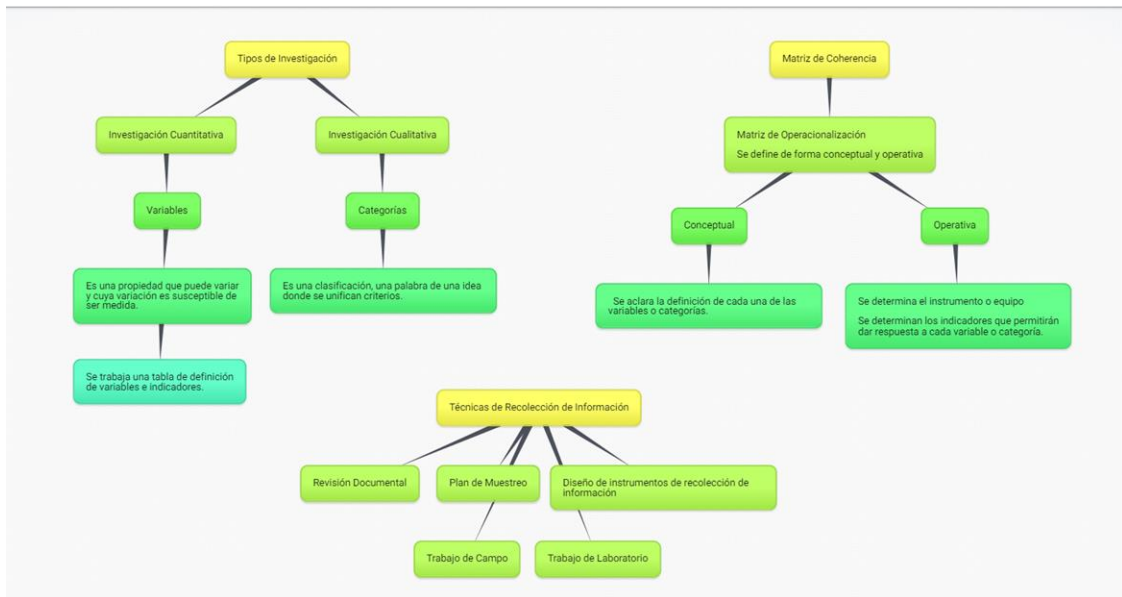
Problema	Objetivo general	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Indicadores
Limitado acceso al servicio de electricidad para la población en ausencia de sistemas fotovoltaicos	Realizar una metodología para el dimensionamiento de proyectos fotovoltaicos híbridos para viviendas unifamiliares en Huehuetenango.	¿Qué es Energía?			Satisface la demanda
	objetivos específicos	Tipos de Fuentes de Energía	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Diseño Sistema fotovoltaico Consideraciones para el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido	Tiempo de recuperación de inversión Pocas pérdidas de potencia en el sistema Estimación de la reducción de Emisiones de Carbono
¿Cómo se puede promover la implementación de sistemas fotovoltaicos híbridos en viviendas unifamiliares de Huehuetenango?	1. Determinar los factores críticos para el diseño apropiado del sistema fotovoltaico híbrido.	Sistema Solar Fotovoltaico Elementos que componen el sistema fotovoltaico			Estimación del ahorro económico

Continuación apéndice 1.

Problema	Objetivo general	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p>Preguntas se cundarias</p> <p>1. ¿Qué factores se deben tomar en cuenta para el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido?</p> <p>2. ¿Qué beneficios trae consigo un buen diseño de un sistema fotovoltaico híbrido tanto para el ambiente como para las viviendas unifamiliares de Huehuetenango que los implementan? ¿Cuál sería un esquema ordenado y detallado para la realización de proyectos fotovoltaicos híbridos en las viviendas unifamiliares de Huehuetenango?</p>	<p>2. Detallar los beneficios técnico-económicos que un buen diseño de los sistemas fotovoltaicos híbridos puede proporcionar a las viviendas unifamiliares en Huehuetenango una vez se implementen.</p> <p>3. Definir un sistema ordenado de pasos y consideraciones para la implementación de los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico híbrido para las viviendas unifamiliares en Huehuetenango.</p>	<p>¿Qué es consumo eléctrico?</p> <p>¿Cómo funciona la generación fotovoltaica?</p> <p>Normativa y Reglamentos</p> <p>Beneficios del sistema solar</p>	<p>El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis</p>		<p>Tiempo de operación del sistema</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 2. Resumen de técnicas de recolección de datos



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.