



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO
FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN
SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**

Pedro Isaac Tatagüín López

Asesorado por el MBA. Ing. Francisco Tzirin Jocholá

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO
FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN
SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PEDRO ISAAC TATAGÜÍN LÓPEZ

ASESORADO POR EL MBA. ING. FRANCISCO TZIRIN JOCHOLÁ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

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 Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
SECRETARIO	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO
FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN
SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 31 de octubre de 2021.

Pedro Isaac Tatagüín López



EEEFI-

Guatemala, 12 de enero de 2022

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

Estimado Ing. Rivera

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica**, presentado por el estudiante **Pedro Isaac Tataguin Lopez** carné número **200714368**, 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 Gestion De Mercados Electricos Regulados.

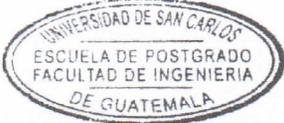
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

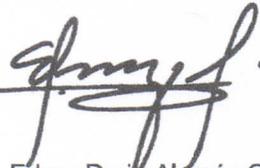
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Francisco Izirín Jocholá
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-0073-2022

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 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Isaac Tataguin Lopez**, 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, enero de 2022

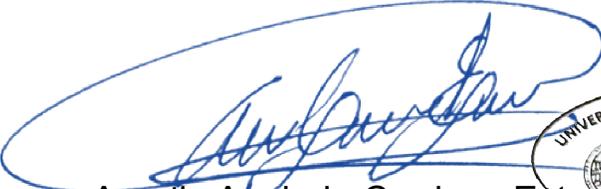


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.246.2022

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 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO DE RESPALDO Y AUTOCONSUMO PARA BOMBEO DE AGUA EN UN SECTOR DE SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO**, presentado por: **Pedro Isaac Tatagüin López**, 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, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme dado la vida y las fuerzas necesarias para alcanzar mis metas a la Virgen María por ser mi intercesora incondicional ante Dios
- Mis padres** Bibiana López y Francisco Tatagüín por haberme traído al mundo y guiarme a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo incondicional para hacer realidad este sueño.
- Mi esposa** Rosalinda Alvarez por ser mi soporte y mi compañera de viaje
- Mis hijos** Adrian Isaac López, Rosalin Alitzeli e Isaac Alessandro Tatagüín Alvarez por ser esa razón de ser para seguir luchando en la vida.
- Mis hermanos** Francisco (q. d. e. p.), Azucena y Daniel Tatagüín López por el cariño y apoyo incondicional que siempre he recibido de ustedes.
- Mis abuelos** Jorge López (q. d. e. p.), Angela Alvarado (q. d. e. p.), Anita Tala (q. d. e. p.), Pedro Tatagüín, por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios superiores y brindarme la oportunidad de formarme en ella.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos necesarios en la carrera de ingeniería eléctrica.
Mi asesor	MBA. Ing. Francisco Tzirin Jocholá por su apoyo y seguimiento en esta etapa tan importante
Mi familia	Tíos, primos, suegros, cuñados y sobrinos, quienes me han brindado su cariño y apoyo.
Mis amigos	Por la amistad y apoyo brindados incondicionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
3.4. Delimitación del problema	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Energía solar	21
7.1.1.	Radiación solar.....	22
7.1.2.	Movimiento del sol.....	25
7.1.3.	Radiación solar en San Andrés Itzapa	27
7.2.	Energía solar fotovoltaica.....	29
7.2.1.	Sistema de energía solar fotovoltaica	31
7.3.	Sistema solar fotovoltaico aislado	32
7.3.1.	Aplicaciones de un sistema solar fotovoltaico aislado.....	33
7.3.2.	Elementos de un sistema de generación solar fotovoltaico	34
7.3.2.1.	Generador fotovoltaico	35
7.3.2.2.	Funcionamiento de un panel fotovoltaico	37
7.3.2.3.	Características de los paneles fotovoltaicos	39
7.3.2.4.	Sistemas de almacenamiento (baterías).....	43
7.3.2.5.	Funcionamiento general.....	46
7.3.2.6.	Clasificación de las baterías.....	47
7.3.2.7.	Baterías de Ión-Litio para instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red	49
7.3.2.8.	Regulador de carga.....	50
7.3.2.9.	Inversor DC/AC	51
7.3.2.10.	Inversores aislados de la red.....	52
7.3.2.11.	Inversores sincronizados a la red.....	53
7.3.2.12.	Inversores para almacenamiento de energía	53

	7.3.2.13.	Inversores híbridos	54
7.4.		Sistema solar fotovoltaico conectado a la red	54
7.5.		Sistema de generación híbrida	55
7.6.		Sistema de bombeo de agua	58
	7.6.1.	Elementos de un sistema de bombeo de agua.....	58
	7.6.2.	Bombas hidráulicas	58
		7.6.2.1. Clasificación de las bombas hidráulicas.....	59
		7.6.2.2. Clasificación de las bombas según su disposición en la instalación.	60
7.7.		Normativas que regulan el pliego tarifario y la conexión de usuarios auto productores con excedentes de energía (UAEE).	61
	7.7.1.	Ley General de Electricidad (LGE)	61
	7.7.2.	Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE)	62
	7.7.3.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) ...	63
	7.7.4.	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (NTGDR)	65
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	67
9.		METODOLOGÍA.....	71
	9.1.	Características del estudio	71
	9.2.	Unidades de análisis	72
	9.3.	Variables.....	73
	9.4.	Fases de estudio	77
		9.4.1. Fase1: Exploración bibliográfica.....	77

9.4.2.	Fase 2: Recolección de la información.....	78
9.4.3.	Fase 3: Análisis cuantitativo de la información.....	79
9.4.4.	Fase 4: Determinación de los parámetros de los elementos que conformarán el sistema solar fotovoltaico	81
9.4.5.	Fase 5: Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica	81
9.5.	Resultados esperados.....	82
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	83
10.1.	Técnicas de recolección de datos	83
10.2.	Distribución de frecuencias	84
10.3.	Medidas de tendencia central	84
10.4.	Medidas de variabilidad.....	84
10.5.	Análisis de beneficio/costo	85
11.	CRONOGRAMA	87
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	89
13.	REFERENCIAS	91
14.	APÉNDICES	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Esquema de solución	19
2. Componentes de la radiación solar	24
3. Altura solar α	26
4. Azimut solar ψ	26
5. Potencial solar en San Andrés Itzapa	29
6. Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada	35
7. Efecto fotoeléctrico de una célula solar	36
8. Esquema del funcionamiento de un panel solar	38
9. Curva Característica I-V en función de la temperatura.....	41
10. Curva característica I-V en función de la irradiación	42
11. Curva de potencia vs voltaje de un panel FV	43
12. Acumuladores asociados en serie-paralelo.....	45
13. Baterías para usos de sistemas fotovoltaicos	47
14. Configuración entre paneles solares FV e inversores	52
15. Diagrama de bloques de sistema híbrido.....	57
16. Esquema funcional de sistema híbrido.....	57
17. Cronograma de actividades.	87

TABLAS

I.	Proporciones de radiación	25
II.	Características del potencial solar para el municipio de San Andrés Itzapa	28
III.	Sistema de energía solar fotovoltaica	31
IV.	Tipos y rendimientos de células solares de silicio.....	39
V.	Tipos de batería para sistemas FV	48
VI.	Tipos de variables.....	74
VII.	Descripción de variables.....	75
VIII.	Tabla de gastos para la investigación.....	89

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AT	Alta tensión
A	Amperio
Ah	Amperio hora
I	Corriente
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
FV	Foto voltaico
°	Grado
IR	Infrarrojo
kW	Kilo vatio
kV	Kilo voltio
kVA	Kilo voltio amperio
KWh	Kilovatio hora
KW/m²	Kilovatio por metro cuadrado
MT	Media tensión
µm	Micrómetro
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria
UV	Ultra violeta
W/m²	Vatio por metro cuadrado
V	Voltio
VA	Voltio amperio

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista
CCM	Centro de Control de Motores
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
DEOCSA	Distribuidora de electricidad de occidente
DEORSA	Distribuidora de electricidad de oriente
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima
LGE	Ley General de Electricidad
MOSFET	Transistor de efecto de Campo Metal-óxido-semiconductor
NTGDR	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad
UAEE	Usuarios Autoprodutor con Excedentes de Energía

RESUMEN

El diseño de investigación que se presenta busca ofrecer un sistema de respaldo y autoconsumo unísono por medio de energías renovables para garantizar la continuidad del servicio de energía eléctrica de una carga crítica como lo es un sistema de bombeo de agua del municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, por lo general los sistemas de bombeo de agua no cuentan con un sistema de respaldo y los que si tiene este respaldo es por medio de medio convencionales por lo que este diseño de investigación es una alternativa diferente a lo convencional.

Se tomaron como referencia todos los estudios que hay acerca de sistemas FV aislados de la red, conectados y los estudios correspondientes a sistemas híbridos, se analizó la información porque lo que se pretende es tomar cada concepto fundamental por sistema para luego lograr unificarlos y así diseñar un modelo funcional para un sistema híbrido FV que garantice la continuidad de la energía eléctrica ante lo escenarios de falla e interrupción programada sobre la red de energía del distribuidor e inclusive del transportista, y en condiciones normales entre en operación la parte de autoconsumo.

Lo que se espera con este diseño de investigación es establecer un modelo funcional de sistema Híbrido Solar Fotovoltaico que brinde ambos sistemas respaldo y autoconsumo, posterior a ello definir los valores de cada elemento que del sistema Híbrido tomando como base la capacidad de la bomba de agua y el valor de su banco de transformación para definirlos en rangos de capacidad instalada es decir que por cada valor de transformador o banco de

transformadores que alimente un sistema de bombeo, ya se tengan definidos también los valores del sistema híbrido FV.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en un gran porcentaje los sistemas de bombeo de agua a nivel nacional no cuentan con un sistema de respaldo que les pueda brindar certeza en el tema de la continuidad del suministro de energía eléctrica. En el municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, no es la excepción ya que se sigue el mismo patrón que se da a nivel nacional.

Esto conlleva a que el sistema de bombeo más importante del municipio que abastece del vital líquido a gran porcentaje de la población quede totalmente expuesto y vulnerable ante fallas e interrupciones que se puedan suscitar en la red eléctrica (Red de Transmisión Eléctrica en AT o Red de Distribución Eléctrica en MT), esto haría que el suministro de bombeo de agua no sea del todo confiable desde un punto de vista de confiabilidad eléctrica.

Esto también es producto del desconocimiento y desinterés que existe en la Municipalidad en materia de sistemas de generación de respaldo, por lo tanto, no se visualizaba la necesidad de implementarlo a su sistema de bombeo principal, sin embargo cuando se suscitaba algún evento de falla o interrupción en la red eléctrica el panorama cambiaba ya que las molestias y la presión de la población afectada era directamente hacia el alcalde y la misma aumentaba conforme transcurría el tiempo de la falla si una pronta respuesta de la distribuidora de energía eléctrica.

Para lograr mitigar la problemática anteriormente descrita se plantea el diseño para la implementación de un sistema de respaldo totalmente fuera de lo

convencional es decir independiente de los combustibles fósiles. Eso se logrará con el aprovechamiento de las energías renovables específicamente la energía proveniente del sol, técnicamente llamada energía solar fotovoltaica y se plantea que el sistema sea híbrido es decir que se pueda utilizar conectado a la red de distribución de energía eléctrica, así como aislado de la misma, agregando una segunda funcionalidad al sistema solar fotovoltaico a implementar por el hecho de que la fuente de energía proviene de un recurso renovable se proyectará para que sea Usuario Auto productor con Excedente de Energía (UAEE).

Cuya normativa a regirse será la NTGDR, esto brindará un ahorro en la facturación mensual producto de una disminución en el consumo de energía eléctrica. Con esto se logrará un sistema completo que brindaría confiabilidad al suministro de bombeo ya que sería un sistema de respaldo y autoconsumo utilizando un recurso renovable sin producir contaminación a nuestro medio ambiente.

El desarrollo de este trabajo de investigación está estructurado en los siguientes capítulos:

En el primer capítulo se desarrolla el marco referencial el cual contempla con mayor amplitud los estudios previos que conforman los antecedentes de fecha reciente que se han llevado a cabo previo al presente trabajo de investigación, los cuales brindan pautas principales de la generación de energía por medio de radiación solar y los elementos involucrados, sus aplicaciones en el ámbito industrial comercial y domiciliario.

El segundo capítulo contempla todo el marco teórico del trabajo de investigación el cual brinda todas las bases teóricas sobre los cuales se cimienta

el trabajo de investigación, sobre todo la descripción de los elementos, fenómenos, instituciones y campos involucrados.

El tercer capítulo contempla el desarrollo del marco metodológico en el cual se desarrolla las características del estudio, las cuales englobaría el tipo de diseño a plantear, su enfoque, el alcance que se tendría y bajo qué unidad de análisis se estará desarrollando el tema de investigación, de manera adicional en este mismo apartado se definen las variables que se analizarán y las fases de estudio que se abarcarán para lograr cumplir los objetivos propuestos.

En el cuarto capítulo contempla realizar la presentación de resultados obtenidos producto de cada una de las fases descritas con anterioridad esta presentación de resultados va acompañada de un análisis exhaustivo de cada resultado y como estos pueden beneficiar o no al objetivo principal de la investigación.

Por último, en el capítulo 5 se realiza uno de los temas que tienen mayor impacto en el trabajo de investigación el cual es el tema económico, ya que uno de las premisas del trabajo de investigación es el beneficio del ahorro en cuestión de consumo de energía eléctrica comparado con el monto que cancela actualmente y costo de la implementación del sistema fotovoltaico, para ello se plantea un análisis de costos.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad existen trabajos de investigación que se basan en sistemas fotovoltaicos como alternativa de generación de energía eléctrica, los cuales ayudarán como soporte para la presente investigación. A continuación, se mencionan algunos que aportan información importante:

En este estudio se toma la parte solar exclusivamente, y la forma en que se implementa que es sobre un conjunto de cargas existente, similar a lo que se pretende realizar en esta investigación con la diferencia es que es sobre una carga específica.

Se expone un estudio realizado en el municipio de Icononzo (Colombia), que evalúa la viabilidad técnica y económica de utilizar energías alternativas para el suministro de energía eléctrica en el hospital de dicho municipio. La investigación se centra en la comparación de los recursos renovables (solar y eólico), determinando la energía aprovechable obtenida por metro cuadrado utilizando cada uno de estos dos recursos, en el transcurso del día y a lo largo del año (Cardona, Amado, y Martínez, 2015,p.113)

Este trabajo brinda un aporte esencial en el tema de la interacción de los elementos que conforman un sistema híbrido sobre todo en el tema que el sistema estaría conectado a una red de distribución que es uno de los dos ámbitos a los cuales estaría en función el sistema híbrido proyectado en este trabajo de investigación.

Se realiza el diseño y cálculo de los dispositivos de un sistema híbrido de energía, integrado por un generador fotovoltaico (arreglo de paneles solares), una fuente de energía convencional (red eléctrica), un banco de baterías para el almacenamiento de la energía proveniente del arreglo fotovoltaico y los respectivos dispositivos de control de las etapas y la interacción de las mismas (Rodríguez, Fernández, y García, 2011,p.69)

El estudio de caso es un aporte importante al tema de investigación ya que se enfoca en un sistema aislado de un red de energía existente que es uno de los escenarios a los que estaría expuesto el sistema híbrido a implementar específicamente sería en la parte de respaldo que debe brindarle a la carga que para este estudio de caso es un sistema de bombeo cuando el mismo no cuente con el suministro de energía eléctrica de la red del distribuidor que prácticamente sería la función de un sistema aislado.

En lugares remotos la electrificación convencional no se puede implementar debido a la topografía del lugar y a los elevados costes de infraestructura. En este caso, el uso de sistemas de energías renovables es una solución viable a este problema. La integración de dos o más fuentes de energías renovables es más fiable que la generación con una sola fuente. Esta integración se conoce como sistema híbrido. El correcto dimensionamiento técnico del sistema y la adopción de técnicas de optimización asegura la viabilidad tecnológica y económica del sistema híbrido (Lata, 2019,p.II)

Lo esencial de este artículo para el tema de investigación es el enfoque en el tema de eficiencia energética que se le da al sistema híbrido como tal y hace un enfoque esencial en la utilización de paneles solares, elemento fundamental del sistema híbrido en la captación de energía solar.

Este artículo de reflexión, se produjo derivado del proyecto de investigación “Mejoramiento de la Eficiencia en paneles Fotovoltaicos utilizando un sistema combinado”, financiado por Conadi, 2010-2011 el cual se produjo en Zaragoza España el cual presenta las características generales de dichos sistemas, se hace énfasis en los factores que influyen en la potencia de salida de los paneles solares y en las características de los sistemas híbridos para obtener mejor eficiencia en ellos (Robles, 2011,p.62)

Abla y Salah (2018) en su artículo presentan un modelo para optimizar costos en la implementación de esta tecnología de respaldo y autoconsumo por ello es de suma importancia al tema de investigación, sin embargo, hace referencia a un sistema combinado de fuentes renovables (se tomará en cuenta el aporte de la generación fotovoltaica) y una alternativa en el tema de almacenamiento de energía por medio de hidrógeno y batería híbrido autónomo, tema sumamente importante en materia del almacenamiento de energía que es uno de lo enfoques importantes de este tema de investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Las fallas e interrupciones en la red de distribución de energía eléctrica provoca la desenergización de un sistema de bombeo de agua potable en un sector del municipio de San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango, lo cual conlleva a un desabastecimiento de agua potable cuyo efecto es negativo tanto en la población como en el jefe edil responsable del pago mensual de energía eléctrica del sistema de bombeo dado a que el monto de la facturación mensual de energía eléctrica es considerablemente elevado.

3.2. Descripción del problema

El desconocimiento que se tiene a nivel de la municipalidad para darle aprovechamiento a la energía renovable como lo es la solar en un enfoque alternativo no como fuente de energía principal sino como respaldo de un sistema eléctrico ya definido y establecido como lo es el sistema de bombeo de un sector de la municipalidad de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, provoca la poca inversión para este tipo de tecnología de respaldo, es más los sistemas de bombeo municipales a nivel país en su gran mayoría no cuentan con un sistema de respaldo y los pocos que cuentan con estos sistemas son dependientes de los combustibles fósiles y la idea es ir dependiendo menos de los combustibles fósiles.

El desconocimiento y la poca inversión para este tipo de sistemas de respaldo dejan en un sentido de vulnerabilidad alta al sistema de bombeo de un sector del municipio ya que una carga tan importante quedaría dependiente de una sola fuente de energía eso conllevaría a que esté propenso a las interrupciones en la red de distribución y transmisión eléctrica provocadas por fallas de índole natural o de fuerza mayor, así como las interrupciones programadas producto de descargos por mantenimiento o por conexiones de nuevos usuarios y el tiempo prolongado de estos que en la mayoría de los casos sobrepasa el tiempo programado.

Para estas interrupciones de manera adicional se suma la atención prolongada para las interrupciones no programadas por parte del distribuidor y en ocasiones por parte del transportista que afecta al distribuidor y por ende a los usuarios, las interrupciones producto de lo que ya se especificó provocó malestar y descontento en los usuarios finales del sistema de agua potable y toda ese malestar y descontento se transmite hacia el jefe edil de la municipalidad de San Andrés Itzapa, Chimaltenango.

3.3. Formulación del problema

En los siguientes apartados se formula el problema mediante una serie de interrogantes que conlleva al análisis correspondiente para brindar soluciones a las mismas lo que conllevaría a la solución íntegra del problema.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo garantizar la continuidad del suministro de energía eléctrica en un sistema de bombeo de un sector del municipio de San Andrés Itzapa, por medio

de un sistema de respaldo y autoconsumo enfocado en la implementación de energías renovables cuando no se cuente con el servicio de distribución por cualquier razón?

3.3.2. Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué modelo de sistema de respaldo y autoconsumo garantiza la continuidad del servicio energía eléctrica y ahorro, mediante uso de energías renovables?
- ¿Qué resultados tecno económicas se obtendrían con la implementación de energías renovables en un sistema de respaldo y autoconsumo a un sistema de bombeo actual del municipio de San Andrés Itzapa?
- ¿Cómo impactaría la facturación mensual del suministro de energía eléctrica con un sistema de respaldo y autoconsumo mediante energías renovables?

3.4. Delimitación del problema

Desde el punto de vista geográfico el problema podría abarcar a todos los sistemas de bombeo municipales existentes sin embargo es una muestra amplia por lo que se delimita a un municipio como lo es San Andrés Itzapa del departamento de Chimaltenango y a un solo sector de referido municipio.

Desde el punto de vista social los sistemas de bombeo en San Andrés Itzapa son varios para varios usuarios por lo que la investigación se delimita a un cierto sector de la población de San Andrés Itzapa que son abastecidos por el sistema de bombeo de mayor capacidad en el pueblo, que por ende abastece a más pobladores del municipio.

Así mismo el sistema híbrido de respaldo y autoconsumo se puede aplicar para un nuevo sistema de bombeo, sin embargo, se delimita para un suministro ya existente sobre el cual ya se tiene un historial de consumo y potencia demandada.

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación a seguir es la de Nuevas Tecnologías para Generación y Transmisión de Energía Eléctrica específicamente en el apartado de Diseño, Operación y Regulación de Proyectos Energéticos con Recursos Renovables.

Se desea implementar un sistema de respaldo, para ello tendrá que llevar su proceso de diseño que se implementará posteriormente es decir entrará en operación aplicado mediante un estudio de caso para un sistema de bombeo existente del municipio de San Andrés Itzapa, y desde el punto de vista de regulación el sistema a implementar tiene un apartado que define el tema de autoconsumo o auto productor que está regido por la Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores, así mismo cabe la pena mencionar que la fuente principal a utilizar es la energía del sol que es un recurso renovable.

Es importante realizar el estudio ya que se pretende implementar un sistema híbrido fotovoltaica de respaldo y autoconsumo únicamente utilizando la fuente de energía solar. Actualmente hay varios estudios de sistemas híbridos combinados es decir que proyectan la combinación de fuentes de energía renovables y no renovables, como también se proyecta mediante la combinación de diferentes fuentes de energías renovables.

Al finalizar este trabajo de investigación se conocerá la viabilidad de la implementación de un sistema híbrido fotovoltaico de respaldo y autoconsumo únicamente mediante una sola fuente de energía renovable.

Los resultados que se esperan serían que el sistema a implementar desde el punto de vista técnico sea funcional es decir que responda a las demandas para las cuales va ser diseñado (sistema de respaldo y auto productor), Desde el punto vista económico lo que se espera es que el monto de facturación mensual del sistema de bombeo actual al cual se le implementará el sistema híbrido disminuya considerablemente. A nivel social brindar la continuidad del servicio de agua potable a un sector del municipio de San Andrés Itzapa.

Desde el punto de vista académico recabar información de los sistemas híbridos combinados con energías renovables, así como los que combinan renovables y no renovables como también los sistemas aislados a la red y los conectados a la red, y lograr aplicarlos al sistema que se plantea implementar.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Implementar un sistema de respaldo y autoconsumo que brinde continuidad y ahorro de energía eléctrica en condiciones normales, de falla y de interrupción programada en la red de distribución eléctrica.

5.2. Específicos

- Determinar los modelos o modelo de respaldo y autoconsumo garantice la continuidad del servicio de energía eléctrica, así como el ahorro energético.
- Comprobar los resultados tecno económicos obtenidos en los análisis que se realicen producto de la implementación de energías renovables en un sistema de respaldo y autoconsumo en un sistema de bombeo existente del municipio de San Andrés Itzapa.
- Determinar el impacto en la facturación mensual del suministro mediante resultados concretos que serían de afectación directa al consumidor final.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A partir del presente estudio se evaluará la factibilidad de implementar un sistema Híbrido Fotovoltaico (FV) que brinde respaldo y autoconsumo a un sistema de bombeo de agua existente de mayor envergadura del municipio, el punto de partida será evaluar el estatus actual del sistema de bombeo existente conectado a la red de distribución para determinar si se encuentra óptimas condiciones desde el punto de vista de confiabilidad y eficiencia energética, ya que de no estarlo se deberán realizar las correcciones pertinentes previo a elaborar el diseño del sistema Híbrido FV.

Es importante mencionar que no existe un estudio de este tipo en Guatemala sobre todo implementado en un sistema de respaldo y autoconsumo a la vez para una bomba de agua mediante fuente de energía renovable no existe y a nivel mundial los sistemas híbridos involucran dos fuentes de energía renovable y la red de distribución o en todo caso sistemas FV aislados de red o conectados a la red, prácticamente se desea implementar la combinación de ambas funciones de los sistemas FV.

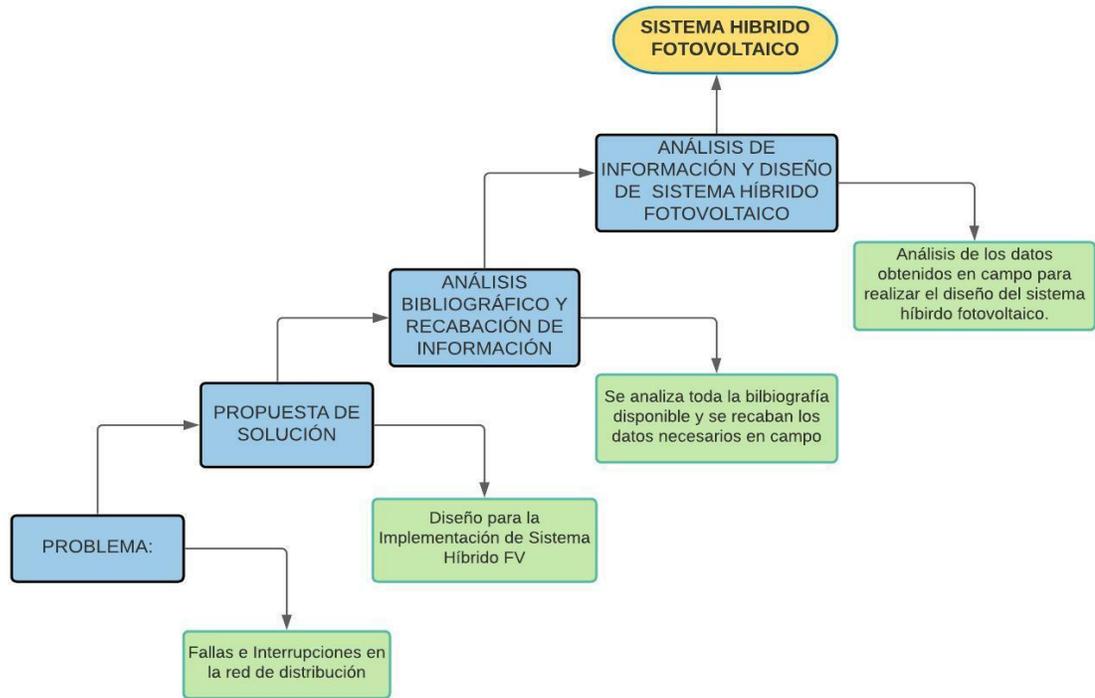
La necesidad nace de poder diseñar para implementación un sistema de respaldo que brinde continuidad de servicio de energía eléctrica ante eventos de falla o interrupción en la red de energía del distribuidor inclusive en la red del transportista lo que afectaba directamente al sistema de bombeo de agua de mayor envergadura del municipio lo que ocasionaba molestias en cierto sector de la población. Así mismo al analizar la versatilidad que brinda el sistema FV surge un aporte adicional que puede brindar el mismo y es el de la parte de autoconsumo del suministro algo que brinda un plus adicional al tema de

investigación sobre todo en el tema de ahorro en la facturación del suministro, por tal motivo el diseño para la implementación del sistema Híbrido FV cubre dos necesidades que son: continuidad en el servicio eléctrico para el sistema de bombeo de agua y ahorro en la facturación mensual del suministro. De ser necesario en esta investigación se harán recomendaciones para la corrección de algún elemento del sistema de bombeo actual no cumpla con los criterios de confiabilidad y eficiencia energética.

El presente estudio aportará la información necesaria para que todos los sistemas de bombeo existentes en el municipio y se pueda extender para todos aquellos municipios que se deseen implementarlo en sus sistemas de bombeo de agua cuya área se vea más severamente afectado por las fallas en interrupciones en el servicio de distribución eléctrica y por qué no ampliar ha sistemas de bombeo particulares. sobre todo, un sistema de respaldo y auto consumo totalmente independiente de combustibles fósiles.

Al determinar lo anterior, se estará garantizando la continuidad del servicio de energía eléctrica a una carga tan crítica en el municipio como lo es su sistema de bombeo de agua, para ello se presenta el siguiente esquema de solución en donde se puede visualizar de manera gráfica cómo se le brindará solución al problema planteado.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía solar

“La energía solar es la fuente principal de vida en el planeta: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima” (Ventura, 2018,p.18).

Es una fuente inagotable de energía específicamente renovable cuyo aprovechamiento de los beneficios se da en el mundo entero, la energía del sol está presente en gran parte de los fenómenos que se dan en la naturaleza, por mencionar algunos: la fotosíntesis, movimiento del viento, del agua, en el crecimiento de las plantas, de la misma manera el origen de un gran porcentaje de energías renovables con las cuales se tiene acceso actualmente, debe su origen a la energía solar.

“La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y 10 mil veces superior al consumo actual” (Arenas y Zapata, 2011, p.18).

Es realmente notorio el impacto que tiene la energía solar sobre la tierra por lo que brindarle un aprovechamiento a este tipo de energía es sumamente conveniente.

7.1.1. Radiación solar

La radiación solar analógicamente según Maldonado y Jarquín, (2016) es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas partes por medio de ondas electromagnéticas con diferentes valores de frecuencia que dan como resultado la luz que puede percibir el ojo humano, así como las que no se pueden percibir con el ojo humano como luz infrarroja y ultravioleta.

La mitad de las frecuencias que se pueden percibir con el ojo humano están dentro del rango de valores de los $0.4\mu\text{m}$ y $0.7\mu\text{m}$ respectivamente a lo que comúnmente se conoce como la luz visible, la mitad restante se divide en un gran porcentaje la parte de la luz infrarroja (IR) y un pequeño porcentaje la luz ultravioleta (UV).

Los valores en magnitudes de potencia eléctrica con los que llega la radiación del sol a la tierra lo hace mención Maldonado y Jarquín.

La radiación solar llega a la superficie terrestre con una potencia máxima de aproximadamente 1 kilovatio por metro cuadrado (kW/m^2). La proporción real de radiación utilizable varía dependiendo de la ubicación geográfica, presencia de nubes, horas de luz al día, etc.

La potencia solar disponible varía entre 250 y 2500 kilovatios hora por metro cuadrado y año (kWh/m^2 año). La radiación solar total es mayor en el Ecuador, especialmente en zonas áridas (Maldonado y Jarquín, 2016, p. 8-9).

La unidad de medida que cuantifica la radiación solar que llega a la tierra es la Irradiancia que mide la energía por unidad de tiempo y área, que alcanza la superficie de la tierra y su dimensional es el $\frac{W}{m^2}$ (Vatio por metro cuadrado).

De acuerdo a lo indicado por Castillo (2015) en donde indica que la radiación que la tierra recepciona del sol por medio de ondas electromagnéticas lo reirradia de nuevo al espacio en cierta cantidad de calor, dicho en otros terminos el uso de la radiación solar no es más que su conversión útil para la humanidad. Es decir, el resultado neto de dicho aprovechamiento es el mismo que si no hubiera habido interferencia en el proceso de reirradiación al espacio, pues solamente se ha producido un desfase o retraso en este proceso, como resultado de la disposición humana o como parte de los procesos naturales.

En función de cómo se da el proceso de recepción en los objetos situados en la superficie terrestre, Arenas y Zapara (2011) hacen mencion a estos tipos de radiación.

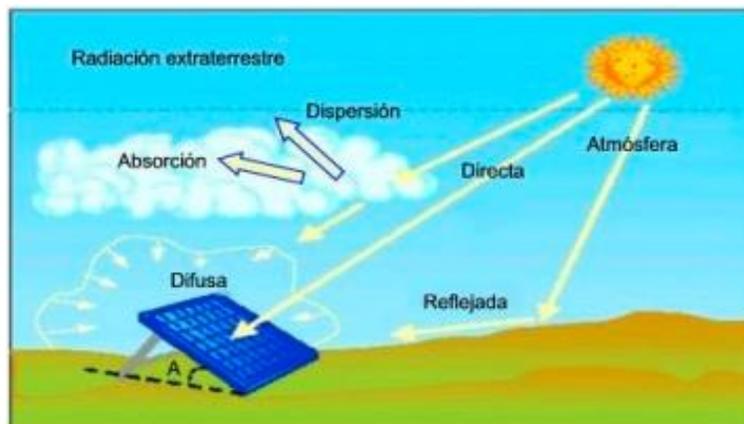
“La Radiación directa es aquella llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan” (Arenas y Hodman, 2011, p. 23)

Arenas y Hodman (2011) describen que la Radiación Difusa es la que atraviesa la atmosfera y es reflejada por las nubes o absorbida por estas, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, el propio suelo, etc., también se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos que se interponen.

Según Castillo (2015) la radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamado también albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

En conclusión, de acuerdo a Castillo (2015) La radiación total es la suma de las tres radiaciones que se describieron anteriormente, en un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa, por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Figura 2. **Componentes de la radiación solar**



Fuente: Castillo. (2015). *Diseño de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conectada a red para autoconsumo bajo normativa de generación distribuida NTGDR de los edificios S1 y M5 del campus central de la USAC* de 2021. Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1055/1/Erick%20Rodolfo%20Castillo%20Villatoro.pdf>

Tabla I. **Proporciones de radiación**

LAS DIFERENTES PROPORCIONES DE RADIACIÓN QUE RECIBE UNA SUPERFICIE DEPENDEN DE:

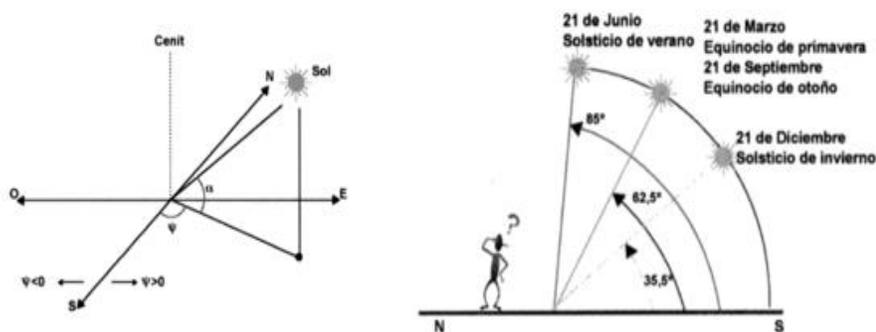
Condiciones mete reológicas	<i>En un día nublado la radicación es prácticamente difusa, mientras que en uno soleado es directa</i>
Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal	<i>Una superficie horizontal recibe la máxima radicación difusa y la mínima reflejada.</i>
Presencia de superficies reflectantes.	<i>Las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radicación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.</i>

Fuente: elaboración propia.

7.1.2. Movimiento del sol

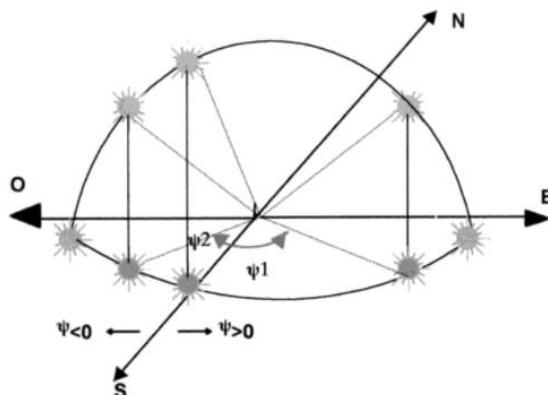
El movimiento del sol acuerdo a lo indicado por Méndez y Cuervo (2007) dibuja trayectorias diferentes según las estaciones que se vayan dando durante el año, en verano el sol sube mucho, mientras que en invierno el sol sube poco lo que provoca que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras, para el estudio del movimiento del sol se utilizará un sistema de coordenadas con dos ángulos que permite saber en cada momento la posición del sol.

Figura 3. **Altura solar α**



Fuente: Mendez y Cuervo. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1055/1/Erick%20Rodolfo%20%20Castillo%20%20Villatoro.pdf>

Figura 4. **Azimut solar ψ**



Fuente: Mendez y Cuervo. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1055/1/Erick%20Rodolfo%20%20Castillo%20%20Villatoro.pdf>

Según Méndez y Cuervo (2007), para obtener la mayor producción de una instalación de paneles solares interesa que en todo momento los paneles solares estén en todo momento perpendiculares a los rayos del sol o dicho de una mejor

manera a la radiación solar, para ello el sistema de paneles deberá tener 2º de libertad.

7.1.3. Radiación solar en San Andrés Itzapa

Según el sitio web gratuito de la red Atlas Solar Global indica lo siguiente:

Las estimaciones de rendimiento de energía solar específicas del sitio disponibles (San Andrés Itzapa) a través del Atlas Solar Global son adecuadas para estudios preliminares, ya que consideran valores predeterminados para muchos factores que son importantes para el diseño de un sistema fotovoltaico (GROUP, ESMAP, y SOLARGIS, 2021, párr.5)

Esta aplicación gratuita en la red nos permite obtener información precisa por día o por año de cualquier región a nivel mundial donde se especifica el potencial solar existente en la región consultada.

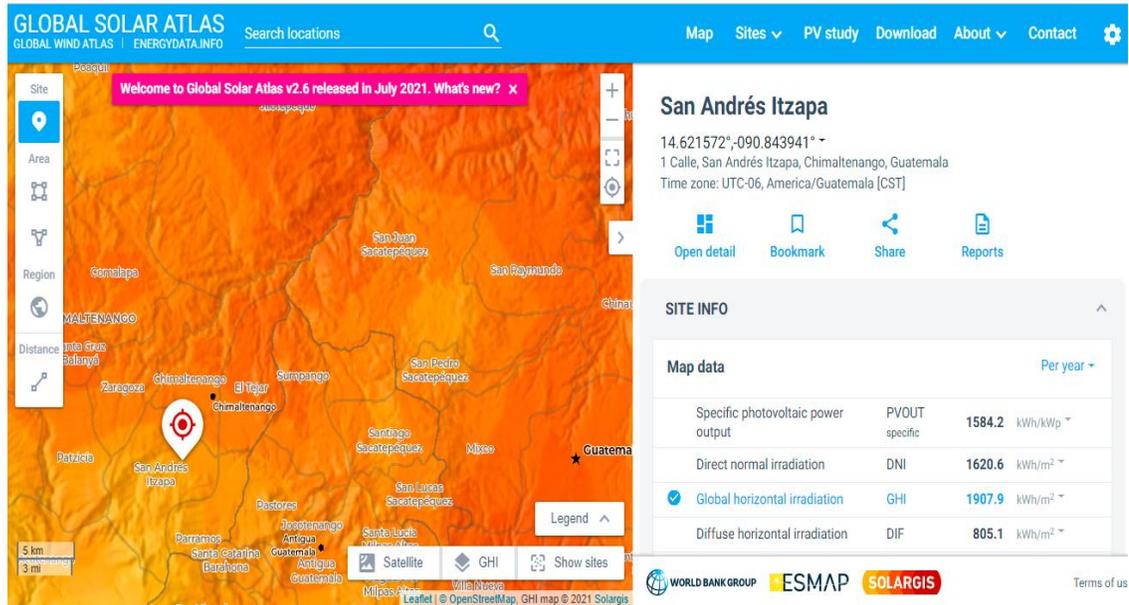
Para fines de este trabajo de investigación se extrajeron los datos específicos por año y día del municipio de San Andrés Itzapa, obteniendo los siguientes datos.

Tabla II. **Características del potencial solar para el municipio de San Andrés Itzapa**

DESCRIPCIÓN	ABREVIATURAS	RESULTADO POR AÑO	RESULTADO POR DÍA
Salida de potencia fotovoltaica específica	<i>PVOUT specific</i>	1584.2 KWh/Kwp	4.340 kWh/kWp
Irradiación normal directa	<i>DNI</i>	1620.6 KWh/m ²	4.440 kWh/m ²
Irradiación horizontal global	<i>GHI</i>	1907.9 KWh/m ²	5.227 kWh/m ²
Irradiación horizontal difusa	<i>DIF</i>	805.1 KWh/m ²	2.206 kWh/m ²
Irradiación global inclinada en ángulo óptimo	<i>GTI opta</i>	1969.7 KWh/m ²	5.396 kWh/m ²
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	<i>OPTA</i>	17 / 180 °	17 / 180 °
Temperatura del aire	<i>TEMP</i>	17.1°	17.1°
Elevación del terreno	<i>ELE</i>	1848 m	1848 m

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Potencial solar en San Andrés Itzapa**



Fuente: Global Solar Atlas. *Atlas solar*. Consultado el 03 de noviembre de 2021.
 Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map?c=14.70084,-90.734367,11&s=14.621572,-90.843941&m=site>.

7.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la que se obtiene por medio de células solares agrupadas ya sea de manera serial o paralela como hace mención Rojas y Limón (2017) forman un panel solar fotovoltaico construido normalmente de material semiconductor como lo es el silicio policristalino o monocristalino el cual tiene la propiedad de que los fotones que llegan a su superficie son transformados en energía eléctrica normalmente se genera un voltaje de 12 o 24 V (voltios) de CD (Corriente Directa) y un amperaje que oscila entre los 3A (Amperios), dependiendo de cómo se realice el arreglo de las células, en serie y paralelo.

En materia de la obtención de electricidad a partir de la luz se menciona:

La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas (Puig y Jofra 2011, p.2).

La luz está compuesta por fotones que son partículas energéticas estas contienen diferentes niveles de energía correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Según Sánchez (2012) Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a través de ella, solo pueden generar electricidad los fotones absorbidos.

Eso quiere decir que cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

En el sistema FV se le dá aprovechamiento importante a la fuente de energía limpia e inagotable como lo es sol, utilizando un agente externo como lo son las celdas fotovoltaicas sin embargo este proceso es unicamente la funcionalidad de captar y generar, especificamente generar voltaje en corriente directa (CD) un voltaje que dese el punto de vista comercial no es utilizable a la mayoría de cargas disponibles ya sea residenciales, comerciales e industriales ya que la funcionalidad de estas cargas dependen de un voltaje de corriente

alterna (CA), por lo que se ve necesario otros agentes externos para completar un sistema bien definido.

7.2.1. Sistema de energía solar fotovoltaica

“Es el conjunto de componenetes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar diponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica” (Méndez y Cuervo, 2007,p.37), dentro de las ventajas que estos sistemas tienen se pueden enlistar las siguientes en la siguiente tabla

Tabla III. Sistema de energía solar fotovoltaica

VENTAJAS
No produce polución ni contaminación ambiental
No produce contaminación auditiva
Tiene vida útil superior a los 20 años
Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.
No requiere mantenimiento complejo, solo limpieza del módulo solar y estado de baterías
Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación, incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente
Independiente de los combustibles fósiles

Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de energía solar fotovoltaica se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Sistemas de energía SFV aislados de la red de ditribución (con baterías)

- Sistemas de energía SFV conectados a la red de distribución (con y sin baterías)

7.3. Sistema solar fotovoltaico aislado

En términos muy generales según (Fernández, 2021, p. 17) “ una instalación fotovoltaica aislada de la red es un sistema de generación de corriente capaz de proporcionar energía procedente de la luz del sol sin necesidad de conexión a la red eléctrica”

Al ser un sistema totalmente independiente de la red eléctrica que es la principal característica de este sistema Fernández (2021) es necesario tomar en cuenta que el sistema debe brindar continuidad en el servicio de energía eléctrica las 24 horas, esto debido a que los paneles solares únicamente generan energía en las horas de sol es necesario un sistema de almacenamiento de energía.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad, de tal manera que, en una zona donde haya muchos días soleados al año, habrá que acumular poca energía, esto es, cuanto más largo es el periodo sin luz, hay que acumular más energía. (Sánchez, 2012,p.8)

La cantidad de paneles solares a instalar en este tipo de sistemas toma en cuenta lo siguiente según Sánchez (2012)

- La demanda energética en los meses mas desfavorables
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda sin sobredimensionar los dispositivos que conforman el sistema.

7.3.1. Aplicaciones de un sistema solar fotovoltaico aislado

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

De acuerdo a lo indicado por (Sánchez, 2012, p. 8) “Desde los orígenes de la aventura espacial los satélites y naves espaciales han utilizado paneles solares fotovoltaicos para alimentar sus equipos electrónicos.”

Otro ámbito de aplicación importante es en el tema de las telecomunicaciones el cual está tomando auge actualmente la cual de acuerdo a Sánchez (2012):

Existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica y fiable. Son ejemplos característicos: repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc. (p.9)

Siempre en el ámbito de las aplicaciones ahora en el ramo de la señalización se describe a continuación: “La señalización marítima y terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos en balizamiento de aeropuertos, señalización de carreteras y puertos, etc.” (Sánchez, 2012, p. 9)

Los bombeos de agua son otra aplicación importante a los cuales se le puede implementar el sistema aislado de la red.

Al estar los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy adecuada. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las necesidades ya que, en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce (Sánchez, 2012, p. 9)

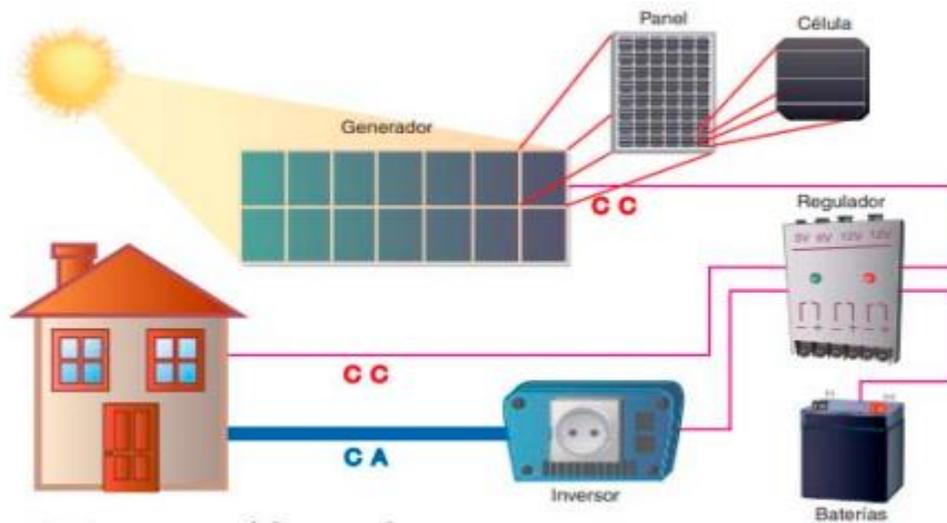
Una cuarta aplicación de los sistemas aislados de la red eléctrica es en el tema del Alumbrado Público (AP) y según Sánchez (2012) se esto en el tema de innovación de nuevas tecnologías de iluminación por su instalación sencilla y mínima obra civil.

Por último y no por eso menos importante se hace referencia de los sistemas centralizados para poblaciones rurales totalmente aislados de la red eléctrica a lo que Sánchez (2012) describe: “Cuando hay que electrificar una pequeña población rural aislada, la solución más idónea es instalar un sistema centralizado que gestione y distribuya la energía de los habitantes de la pequeña población” (p.11)

7.3.2. Elementos de un sistema de generación solar fotovoltaico

Los componentes básicos de un sistema de generación Solar Fotovoltaico según Sánchez (2012) son: Generador fotovoltaico, el sistema de acumulación, el regulador de carga y el inversor.

Figura 6. **Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada**



Fuente: Fernández. (2021). *Diseño y simulación de instalaciones fotovoltaicas aisladas para aplicaciones de autoconsumo en zonas rurales con difícil acceso a la red eléctrica.*

Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/58084/TFG_LuciaFernandezFernandez.pdf?sequence=3&isAllowed=y

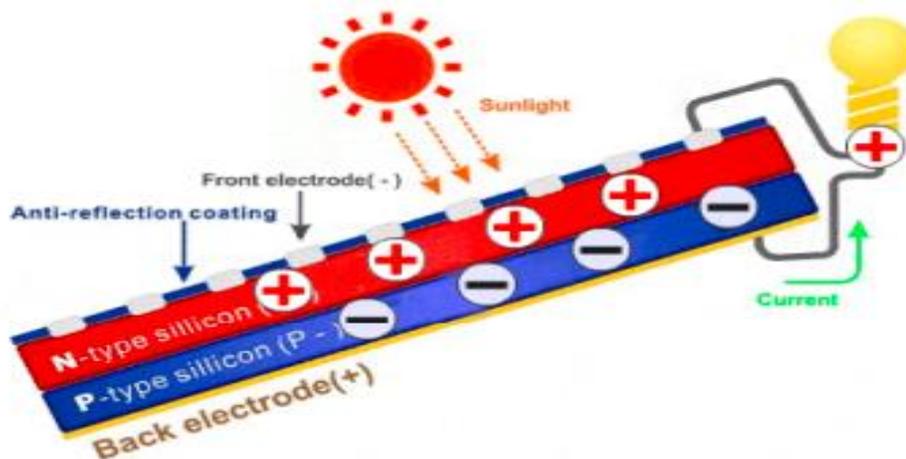
7.3.2.1. **Generador fotovoltaico**

El generador fotovoltaico no es más que un panel fotovoltaico el cual está conformado por un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas eléctricamente unas con otras encapsuladas es por esto que Fernández (2021) hace mención que las celdas fotovoltaicas funcionan bajo el principio del efecto fotoeléctrico, en el que se convierte la energía del sol en energía eléctrica.

En relación al efecto fotoeléctrico Fernández (2021) hace mención en su documento que consiste “en el movimiento de partículas que viajan a través de la luz del sol conocidas como fotones. Estas partículas “chocan” contra las celdas

solares produciéndose como consecuencia de dicho choque los electrones. De esta forma se produce un flujo de electrones conocido como corriente eléctrica” (p.23).

Figura 7. Efecto fotoeléctrico de una célula solar



Fuente: Fernández. (2021). *Diseño y simulación de instalaciones fotovoltaicas aisladas para aplicaciones de autoconsumo en zonas rurales con difícil acceso a la red eléctrica.*

Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de

https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/58084/TFG_LuciaFernandezFernandez.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Es de suma importancia hacer una aclaración previa para tener claro dos conceptos previos y es por eso que Fernández (2021) hace mención que se debe considerar lo que es una celda solar, definida como un pequeño dispositivo electrónico construido con material semiconductor que no es conductor ni aislante generalmente Silicio Cristalino, por otro lado el segundo concepto que es célula o celda fotovoltaica cuya función es convertir la energía solar en energía eléctrica, combinando ambas células se conforma el panel solar fotovoltaico.

7.3.2.2. Funcionamiento de un panel fotovoltaico

Una corriente eléctrica es un flujo de electrones que se produce al establecerse una diferencia de potencial eléctrico denominado Voltaje es por eso que Puig y Jofra (2011) mencionan que todos los materiales están repletos de electrones y que los átomos de los materiales están conformados por núcleos con carga positiva rodeados por nubes de electrones con carga negativa.

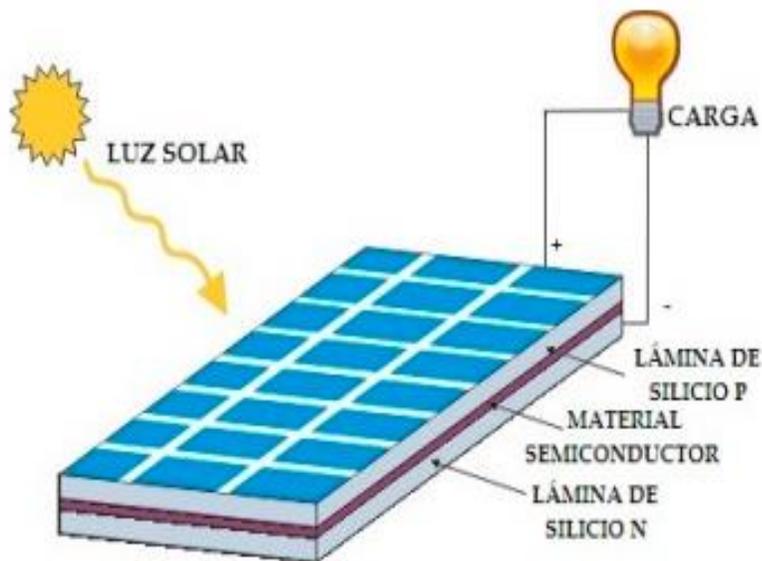
Así mismo Puig y Jofra (2011) hacen mención que existen algunos materiales en donde el flujo de electrones se da de manera libre a estos materiales se les denominan conductores y se caracterizan en que sus electrones tienen un valor elevado y se movilizan en la banda de conducción pero también existen otros materiales donde el flujo de electrones no se da a estos materiales se les denomina aislantes y se caracterizan debido a que sus electrones no tienen ninguna opción de desplazamiento y pertenecen a la banda de valencia. De manera adicional existen otros materiales denominados semiconductores los cuales ni son conductores eléctricos ni aislantes y se caracteriza que entre sus dos bandas tanto de conducción como de valencia existe una banda denominada prohibida que se interpone entre ambas.

Una célula fotovoltaica solo puede generar electricidad en tres condiciones que hacen mención en el documento de (Puig y Jofra, 2011, p.5).” Modificar el número de cargas positivas y negativas. Crear cargas que permitan la aparición de una corriente. Establecer una diferencia de potencial o campo eléctrico”.

Por otra parte, de acuerdo a Fernández (2021) los fotones que proceden del sol inciden sobre la superficie de la lámina con carga positiva P que al estar en contacto con esta capa liberan electrones de silicio atravesando la capa del semiconductor llegando hasta la lámina con carga negativa N una vez allí no hay

punto de retorno dado a que no tienen la capacidad para retornar por si solas a la lámina con carga positiva P y se van acumulando hasta formar una diferencia de potencial con respecto a las cargas con signo positivo.

Figura 8. **Esquema del funcionamiento de un panel solar**



Fuente: Fernández. (2021). *on difícil acceso a la red eléctrica*. Consultado el 03 de noviembre de 2021. Recuperado de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/58084/TFG_LuciaFernandezFernandez.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Teniendo esta diferencia de potencial se podría mediante un conductor eléctrico unir cada extremo mediante una carga y obtendría corriente eléctrica, prácticamente un circuito cerrado, eso sí circuito de corriente directa (CD)

7.3.2.3. Características de los paneles fotovoltaicos

Dentro de las características que tiene un panel fotovoltaico es el material con el cual son construidos según Sánchez (2012) la materia prima más utilizada para la fabricación de los mismos son el silicio, este material es el más abundante en la tierra después del oxígeno, ya que la combinación de ambos forma el 60 % de la corteza terrestre. Las formas en que se presenta el silicio se describen en la siguiente tabla.

Tabla IV. Tipos y rendimientos de células solares de silicio

TIPOS DE SILICIO	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO DE LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO
Monocrystalino	<i>En este caso el silicio que compone las células de los módulos es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es complicado y costoso, pero, sin embargo, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica.</i>	24 %	15-18 %
Policristalino	<i>No está formado por un solo cristal. El proceso de cristalización no es tan cuidadoso y la red cristalina no es la misma en todo el material. Este proceso es más barato que el anterior, pero se obtienen rendimientos ligeramente inferiores.</i>	10-20 %	12-14 %

Continuación tabla IV

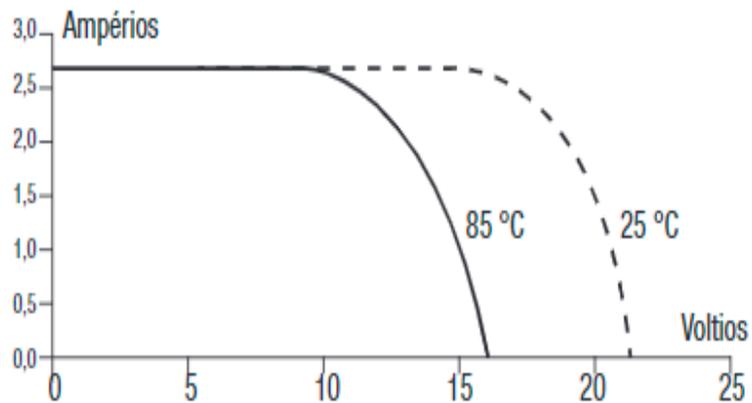
Amorfo	<i>En el silicio amorfo no hay red cristalina y se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina. Sin embargo, posee la ventaja, además de su bajo coste, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar.</i>	16 %	<10 %
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-----------------

Fuente: elaboración propia.

Es de suma importancia tomar muy en cuenta al momento del elegir un panel solar el tema del rendimiento de las células es por ello que Fernández (2021) hace mención que el punto de trabajo en la curva I-V que experimenta el panel, la irradiación donde se va producir el efecto fotovoltaico y la temperatura de las células fotovoltaicas.

La Curva I-V nos demuestra de una forma gráfica los valores de corriente y voltaje sobre los cuales puede trabajar una celda fotovoltaica, siempre dependiendo de la irradiación variable y la temperatura

Figura 9. **Curva característica I-V en función de la temperatura**

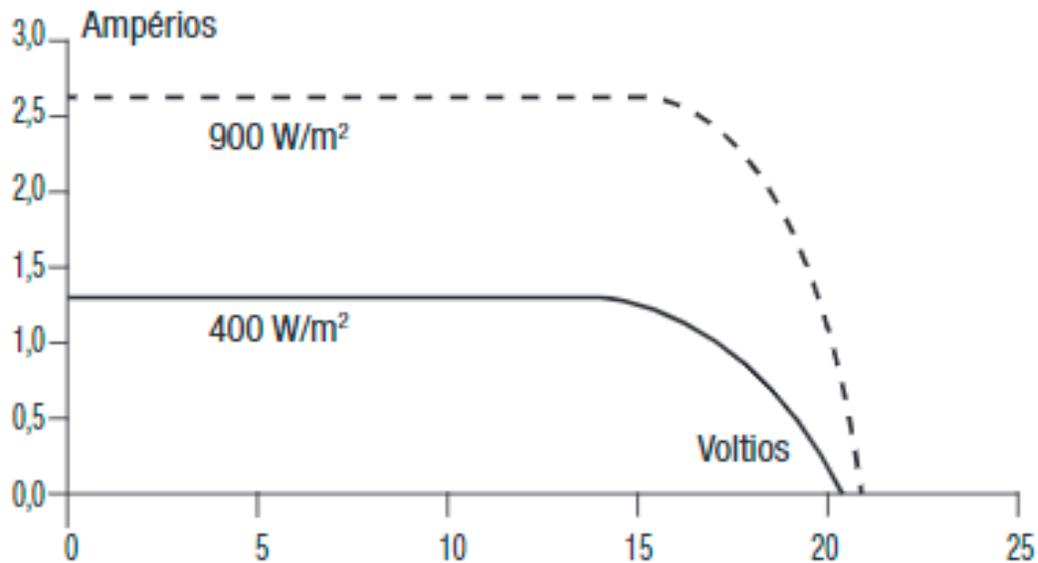


Fuente: Robles. (2011). *Sistemas híbridos una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares*. Consultado el 04 de noviembre de 2021. Recuperado de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/357/362>

En la gráfica anterior presentada por Robles (2011) se puede observar el comportamiento del voltaje y corriente de salida del panel FV y la relación de ambas magnitudes ante la presencia de dos temperaturas diferentes, de manera adicional se observa que cuando el voltaje de salida es máximo la corriente es 0 (característica típica de circuito abierto) mientras que por el otro lado cuando se obtiene un valor de corriente máxima el voltaje de salida es 0 (característica típica de corto circuito).

En la siguiente gráfica se representa el comportamiento de la I-V en función de la irradiación.

Figura 10. **Curva característica I-V en función de la irradiación**

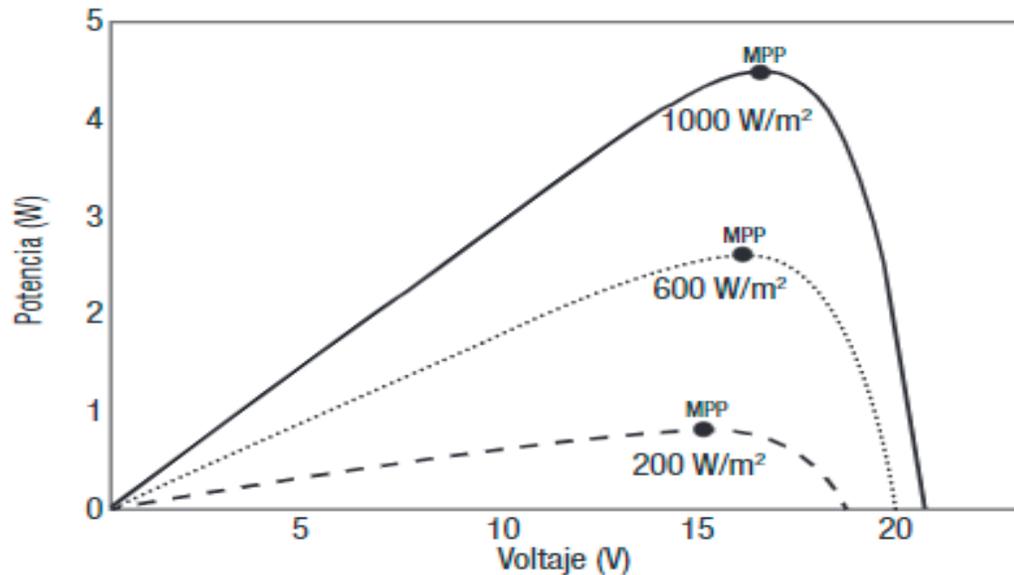


Fuente: Robles. *Sistemas híbridos una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares*. Consultado el 04 de noviembre de 2021. Recuperado de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/357/362>

El análisis que nos presenta Robles (2011) mediante la gráfica anterior se puede observar el comportamiento e interacción de la I-V ante la presencia de dos valores de irradiación, se puede observar claramente que cuando la irradiación disminuye la corriente de cc disminuye es decir son directamente proporcionales.

El último análisis de Robles (2011) mediante la gráfica de potencia vs voltaje de un panel FV y el punto de máxima potencia que se le puede entregar a una carga se ve limitado por los valores de irradiación y temperatura de las celdas fotovoltaicas.

Figura 11. **Curva de potencia vs voltaje de un panel FV**



Fuente: Robles. *Sistemas híbridos una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares*. Consultado el 04 de noviembre de 2021. Recuperado de: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/357/362>

Robles (2011) También hace mención que para lograr mitigar esta limitante en concepto de la máxima potencia entregada se debe implementar un controlador de carga para lograr mantener que la potencia entregada sea de valor máximo, ante valores de irradiación y temperatura definidos.

7.3.2.4. Sistemas de almacenamiento (baterías)

Los sistemas de almacenamiento por medio de baterías son los que brindan la continuidad del servicio de energía eléctrica en los sistemas FV cuando estos mismo no generan energía producto de la poca o nula irradiación de parte del sol en ciertos períodos de tiempo específicamente por la noche en donde no se

genera lo suficiente para abastecer la demanda que se da en ese preciso momento sin embargo según indica Abella (2005) los sistemas de almacenamiento se pueden utilizar para otras necesidades como lo son: estabilizadores de voltaje o corriente y para suministrar picos de corriente específicamente en el arranque de motores, sin embargo su uso es habitual en sistemas FV autónomos.

De manera habitual según lo menciona Abella (2005) se suelen utilizar 2 tipos de baterías para sistemas FV las cuales son: Plomo-ácido y Níquel Cadmio, es evidente que la diferencia entre estos dos tipos de batería es el costo de cada una de ellas ya que por un lado las baterías Plomo-ácido son las de menor costo y las más usadas, sin embargo las baterías de Níquel Cadmio presentan una gran ventaja y es que soportan descargas profundas o permanecer por largos períodos de tiempo sin cargar y no sufrir daño alguno, de manera adicional presenta una menor auto descarga y menor mantenimiento.

La batería puede llegar a ser el elemento más caro y delicado de dimensionar en un sistema solar FV es por ello que Fernández (2021), hace mención a un equipo que debe brindar el respaldo, confiabilidad, eficiencia al sistema cuando se le requiera teniendo el cuidado necesario de sus parámetros como lo son la carga y descarga del mismo.

Según los elementos que conforman un dispositivo se hace mención de lo siguiente:

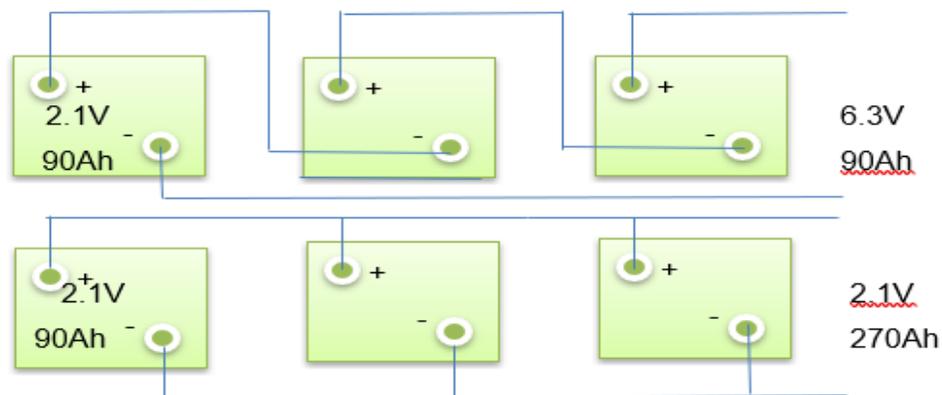
Las baterías suelen estar formadas por elementos de dos voltios que conectados en serie proporcionan tensiones de trabajo de 12 V, 24 V, 48 V, etc.... La capacidad Amperio hora (Ah) de un grupo de baterías conectadas en serie es igual a la capacidad de cada uno de los elementos

que lo componen. Si se conectan baterías en paralelo se suma la capacidad de sus elementos. (Abella, 2005, pp. 10-11).

Así mismo en el tema de la capacidad de una batería Abella (2005) hace mención de lo siguiente:

La capacidad necesaria de las baterías en un sistema FV se calcula en función a los consumos y al número de días de autonomía del sistema. Por otro lado, es importante que el dimensionado del acumulador con relación al generador FV esté bien realizado. Un exceso de capacidad de almacenamiento respecto de la capacidad de generación del generador FV daría lugar a la batería tendría dificultades en poder cargarse completamente. Por el contrario, una baja capacidad de batería da lugar a poca autonomía y se corre el riesgo de quedarse sin suministro de energía en caso de ausencia de radiación solar (pp. 10-11).

Figura 12. **Acumuladores asociados en serie-paralelo**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo indicado por Abella (2005) los acumuladores electroquímicos de plomo ácido o las baterías son células electroquímicas cuyas

reacciones en los electrodos hacen que se pueda almacenar energía para posteriormente liberarla cuando se conecte una carga al circuito exterior, lo que indica que las células electroquímicas están constituidas por placas, materia prima y electrolitos.

7.3.2.5. Funcionamiento general

Una batería está formada por una celda electroquímica, Abella (2005) hace mención de los elementos que constituyen las células electroquímicas:

Las placas forman los electrodos positivo y negativo que permiten la entrada y salida de la corriente eléctrica que circula por el interior de cada elemento de batería por efectos de los procesos de carga o descarga. Los electrodos sufren reacciones de oxidación/reducción y dependiendo del proceso funcionan como ánodo o como cátodo. Existen diferentes configuraciones de placas: empastadas, tubulares..., cuya elección depende de las condiciones de operación (Abella, 2005, p. 11)

Otro material que constituye las células electroquímicas son los materiales activos, los cuales de acuerdo a Abella (2005) “constituyentes de cada célula o elemento, participan en la reacción electroquímica de carga y descarga. En algunos tipos de placas se utilizan rejillas para retener el material activo y mejorar la distribución de la corriente en la placa” (p.11)

Un tercer elemento es el electrolito el cual se describe como “una solución diluida de ácido sulfúrico, en el caso de las baterías de plomo-ácido, que funciona como medio de transporte de cargas eléctricas entre las placas positiva y negativa y además interviene en la reacción de carga y descarga” (Abella, 2005, p. 11).

Figura 13. **Baterías para usos de sistemas fotovoltaicos**



Fuente: Abella. *Sistemas fotovoltaicos*. Consultado el 04 de noviembre de 2021. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1636101758&Signature=HL4AEmtkk1c2evS6U8ysRr6

7.3.2.6. **Clasificación de las baterías**

La clasificación de más general es según el acceso al electrolito es por ello que Fernández (2021) hace mención que se dividen en baterías abiertas o cerradas. Sin embargo, para seleccionar el tipo de batería para un sistema solar FV se disponen de los siguientes tipos de batería que se describen en la siguiente tabla.

Tabla V. Tipos de batería para sistemas FV

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Baterías Monoblock	<ul style="list-style-type: none"> • Destinadas para instalaciones FV pequeñas donde debe mantenerse una relación calidad-precio equilibrada. • Su uso se recomienda en sistemas aislados, telecomunicaciones, señalización o repetidores
Baterías AGM	<ul style="list-style-type: none"> • Incorpora válvulas de regulación de gases para evitar pérdidas y obtener un mayor rendimiento. • Ideal para instalaciones donde se requiere corrientes muy elevadas en tiempos cortos. • La R interna de esta batería es muy baja
Baterías estacionarias	<ul style="list-style-type: none"> • Poseen una larga vida útil, superior a los 20 años Profundos ciclos de descarga diarios con buenos resultados ante cualquier tipo de consumo. • Son idóneas en donde se tiene consumo diario durante largo períodos de tiempo
Baterías de electrolito gelificad o Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento cíclico de alta calidad • Adecuadas para sistemas FV de tamaño medio y grande que estén previstas para funcionar largos períodos de tiempo o donde el mantenimiento sea muy complicado de realizar
Baterías de Litio	<ul style="list-style-type: none"> • Su aleación de Li-Fe permite una descarga del 100 por cien de su potencia. • Proceso de carga rápido • Múltiples procesos de descarga. • Buena elección para sistemas FV aisladas.

Fuente: elaboración propia

7.3.2.7. Baterías de Ión-Litio para instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red

Como se puede visualizar en la tabla anterior existen varios tipos de baterías que han ido evolucionando conforme el paso de los años han ido mejorando en su composición, seguridad y vida útil por la implementación de materiales que las componen según Fernández (2021), así mismo se hace énfasis en que el objetivo principal de un sistema FV es incrementar el porcentaje de eficiencia del sistema, por tal razón hoy por hoy las baterías más utilizadas en sistemas FV son las de Litio.

El principal inconveniente que las baterías existentes presentaban antes que las de Litio era su contenido de metales tóxicos como el plomo por ello Fernández (2021) indica que surgió la batería de ion Litio compuesta en su cátodo por sulfuro de Litio y Titanio materiales con la capacidad de acomodar internamente los iones de litio que procedían del ánodo.

El ánodo era de Litio metálico lo que provocaba que cuando la batería se sobrecalentaba podría llegar a explotar esto debido a que posterior al ciclo de carga y descarga se formaban unas dendritas de Litio que sobrepasaban la berrera del electrolito hasta llegar al cátodo lo que produce un corto circuito. Para resolver el inconveniente se tuvo que implementar un material distinto para la construcción del ánodo y evitar el inconveniente que se suscitaba.

Las baterías Li-Ion son destacables frente al resto de baterías por su gran capacidad energética como lo comenta Fernández (2021) en donde se hace referencia también al reducido peso y tamaño de estas baterías cuya constitución del ánodo es de material similar al grafito y la constitución del cátodo es de óxido de cobalto poseen una composición modular en donde se puede almacenar

el Litio, por lo tanto el Litio se desplazará de ánodo a cátodo o viceversa ya sea en proceso de carga o descarga, caso contrario los electrones fluirán por medio de un circuito externo.

7.3.2.8. Regulador de carga

En su gran mayoría los sistemas aislados de la red eléctrica con sistema de almacenamiento de energía requieren un sistema de regulación de carga, esto es debido a que se debe controlar el proceso de carga y descarga del sistema de acumulación de energía por ello Lamigueiro (2013) hace mención que el regulador es un dispositivo electrónico capaz de evitar la descarga y sobre carga excesiva en un acumulador de energía cuando se alcanzan ciertos umbrales, por lo general se determina por la tensión en bornes de la batería.

De acuerdo lo indicado por Lamigueiro (2013) una de las funciones del regulador de carga es controlar el tema de la sobrecarga para ello el regulador puede desconectar al generador de la batería o bien derivar la corriente del generador hacia otro lugar por medio de un cortocircuito o un disipador, ahora bien para proteger frente a la sobre descarga, lo común, tanto en reguladores serie como paralelo, es desconectar los equipos de consumo de la batería por medio de interruptores MOSFETs como dispositivos de conmutación.

En el tema de las protecciones de este dispositivo Lamigueiro (2013) indica que los equipos de consumo y el módulo nunca quedan conectados de forma directa sin la intervención de la batería. Recordemos que una de las funciones del acumulador es estabilizar la tensión del sistema y así evitar fluctuaciones dañinas en los equipos de consumo.

7.3.2.9. Inversor DC/AC

El inversor solar es un convertidor de corriente que se encarga de transformar la energía producida por las placas solares en energía útil para el consumo diario, es por ello que Martínez (2021) hace mención que los inversores funcionan con cualquier fuente de DC ya sea fotovoltaica, electroquímica, u otra. El inversor no produce energía, ya que esta es proveída por la fuente de DC, la cual transforma en AC.

De acuerdo a Martínez (2021) existen dos configuraciones para la conexión de los paneles fotovoltaicos con los inversores:

Los siguientes son las configuraciones en las cuales se puede conectar un inversor:

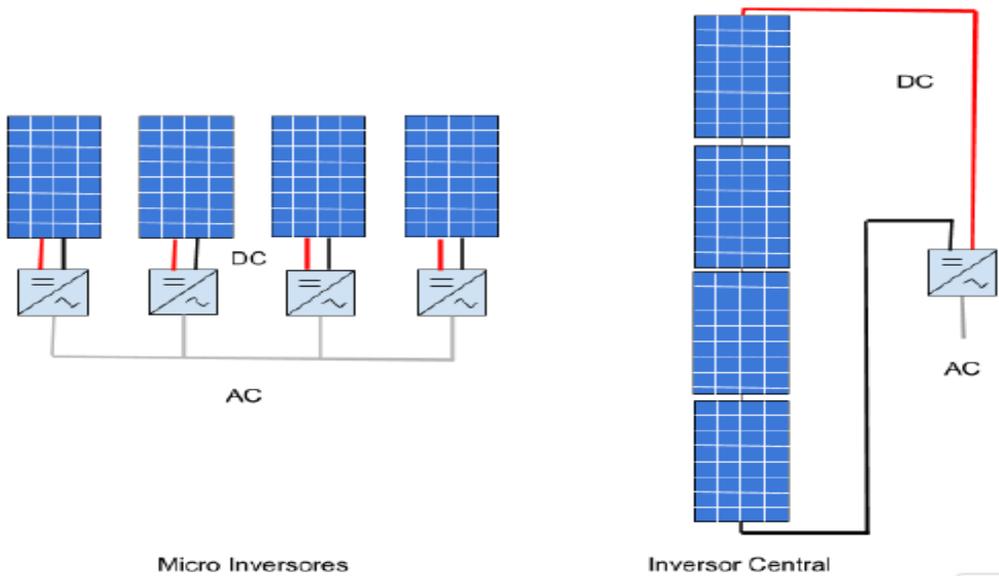
Inversor central tienen un voltaje de operación y MPPT más alto, de alrededor de cientos de voltios DC. Para lograr esto, los paneles fotovoltaicos se conectan en serie para elevar el voltaje y así disminuir las pérdidas por transmisión y, por ende, el calibre de cableado requerido. Una ventaja es que el cableado es de menor calibre disminuyendo su costo; otra ventaja es que facilita la conexión con el banco de baterías.

Esta configuración tiene algunas desventajas; si un panel fotovoltaico tiene sombra, disminuye la potencia de todos los conectados en serie; este efecto puede ser disminuido con la instalación de optimizadores. Otra desventaja es que requiere tierra física e interruptores para alto voltaje DC. La desventaja más importante es que es un único punto de fallo (Martínez O. , 2021, p. 25)

Otra configuración para conectar los paneles FV con los inversores es la de Micro inversor de acuerdo a Martínez O. (2021)

Cada panel fotovoltaico o grupo de paneles se conecta a un inversor y cada inversor se conecta entre sí por medio del cableado AC. Una ventaja es que la máxima potencia es obtenida por cada panel fotovoltaico; otra ventaja es que no tienen un único punto de falla. La principal desventaja de esta configuración es que su precio es elevado en proyectos medianos y grandes, porque son requeridos varios inversores y, por lo mismo, es difícil el acople con banco de baterías (p.25)

Figura 14. **Configuración entre paneles solares FV e inversores**



Fuente: elaboración propia

7.3.2.10. Inversores aislados de la red

Este tipo de inversores son los que se utilizan en los sistemas FV aislados de la red por ello Martínez O. (2021) hace énfasis en su operación en conjunto

con las baterías para almacenar la energía proveniente de los paneles FV para cargar las baterías, este cargador se conecta al inversor y utilizan un diseño electrónico simple que genera una onda cuadrada casi sinusoidal o sinusoidal modificada.

7.3.2.11. Inversores sincronizados a la red

Este tipo de inversores son los que se utilizan en los sistemas FV conectados a la red por ello Martínez O. (2021) hace énfasis en que los inversores se sincronizan con la red de distribución en sus magnitudes de frecuencia y fase, en relación al voltaje únicamente se aumentan unas fracciones de voltio, esto conlleva a que la corriente fluya hacia la red; utilizando la premisa que la red es una carga muy grande, estos inversores siempre inyectarán energía a la red, por lo que una de las ventajas de estos inversores es que no requieren baterías, lo que disminuye el costo de implementación y reduce el tiempo de retorno de la inversión inicial mientras que su desventaja es que no proveen respaldo eléctrico cuando no existe red eléctrica.

7.3.2.12. Inversores para almacenamiento de energía

Este tipo de inversores según Martínez O. (2021) son acoplados a baterías y proveen estabilidad a la red eléctrica, por lo regular absorben y liberan energía de la red eléctrica; al hacer esto, operan con la diferencia entre el costo económico cuando hay exceso de energía y liberan la energía absorbida cuando es requerido, vendiéndose a un costo más alto.

Un ejemplo muy claro sería absorber energía en los picos altos de radiación solar y liberarla cuando prácticamente es nula por decirlo de otra manera por la noche.

7.3.2.13. Inversores híbridos

Este tipo de inversores de acuerdo a Martínez O. (2021), integran las funciones de la energía; su principal uso es el autoconsumo utilizando el almacenamiento de los inversores aislados de la red, sincronizados a esta y como almacenamiento energía en baterías.

Estos inversores funcionan tanto conectados a la red como fuera de ella, por lo que proveen respaldo durante cortes de electricidad.

7.4. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red

En términos muy generales una instalación fotovoltaica conectada a la red es un sistema de generación de corriente capaz de proporcionar energía procedente de la luz del sol a un suministro o consumidor final conectado a la red de distribución del área correspondiente quiere decir que interactúa con la red de distribución eléctrica. Según Méndez y Cuervo (2007) estos sistemas por lo general no cuentan con sistemas de almacenamiento o acumulación de energía ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red de distribución eléctrica.

Este tipo de instalación según Méndez y Cuervo (2007) “cuenta con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución” (p. 41) esto con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de la instalación específicamente cuando se da el proceso de inyección de energía generada a la

red de distribución evitando situaciones peligrosas, se eliminan las baterías que son la parte más delicada y de alto costo de la instalación.

Los elementos que conforman un sistema solar FV básicamente serían muy similares a los ya descritos en el apartado de sistema de generación FV aislados y se enlistan de la siguiente manera.

Modulos fotovoltaicos: que captan la energía solar

Inversor para la conexión a red: maximiza la producción, transforma la corriente directa (CD) en corriente alterna (AC) y decide el momento de introducirla a la red distribución.

Elementos de protección del circuito: protegen la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga (Méndez y Cuervo, 2007, p. 41)

7.5. Sistema de generación híbrida

En algunos casos el sistema FV aislado se puede complementar con otra fuente de energía con la finalidad de tener mayores garantías para disponer de electricidad, según Méndez y Cuervo (2007) Cuando un sistema FV incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido.

Es por eso que Rodríguez, Fernández, y García (2011) describe:

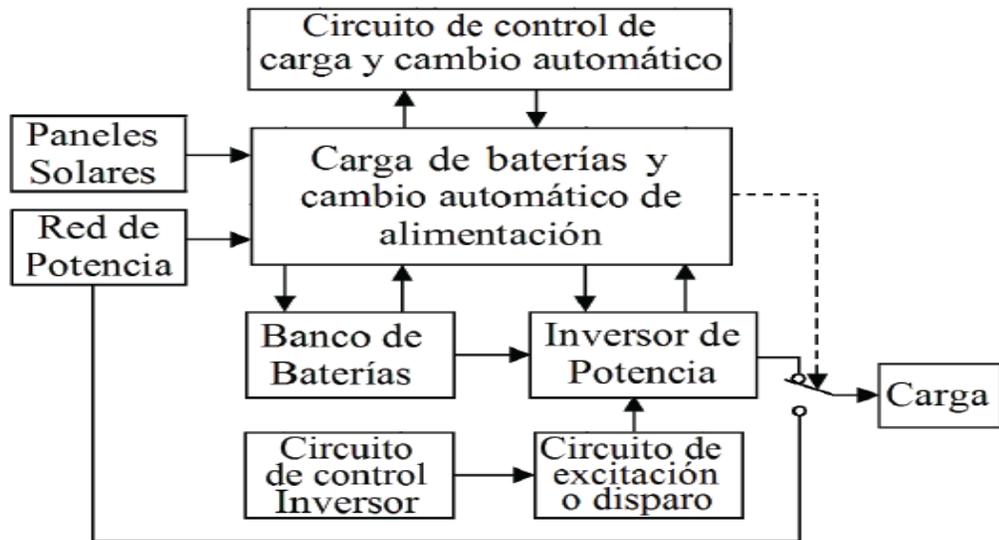
Cualquier sistema de energía híbrido, por lo general, implica la conversión de la energía porque la energía primaria generada es de CD, o, por defecto, convertida a CD, para permitir el uso de las baterías que se utilizan para

almacenar energía eléctrica. Luego, para su uso final, se hace necesario convertir la CD en CA, puesto que la mayoría de los electrodomésticos usan esta corriente de 120 V o 220 V y una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz. Para esta aplicación se debe usar un dispositivo inversor de potencia que garantice la conversión adecuada (p. 70)

Para esta aplicación se debe usar un dispositivo inversor de potencia que garantice la conversión adecuada, según Rodríguez, Fernández, y García (2011) los inversores de potencia tipo puente son los más utilizados por sus características particulares tanto en servicio monofásico como en trifásico, las nuevas topologías han permitido la aplicación de los inversores multinivel, con el objetivo principal de aumentar los niveles de voltaje a la salida y obtener ondas de voltaje y corriente de AC casi ideales en función de la cantidad de niveles, de manera adicional se eliminan los componentes armónicos de menor orden que son los que mayor distorsión aportan.

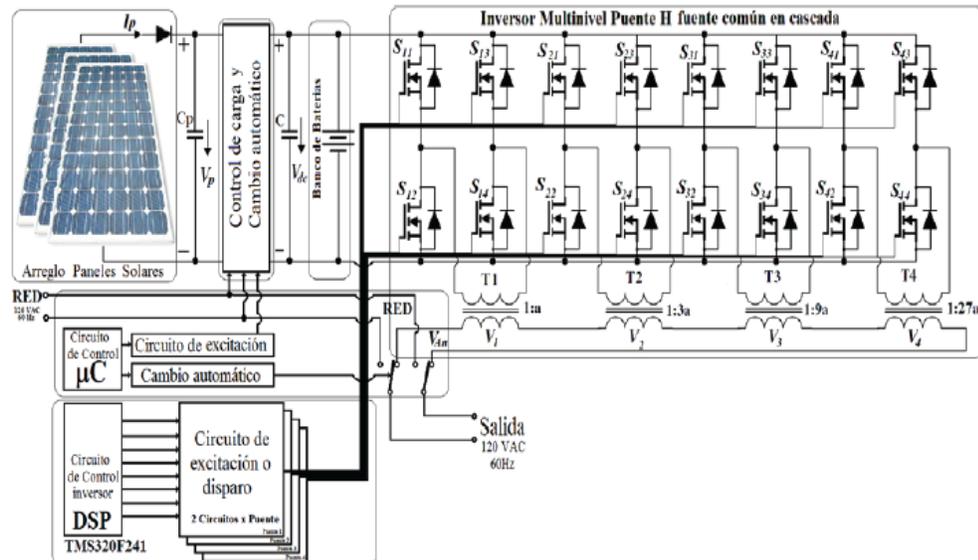
El sistema híbrido diseñado estaría integrado de forma general por las siguientes etapas según Rodríguez, Fernández, y García (2011) “Arreglo de paneles solares, banco de baterías, circuito de control de carga y cambio automático, carga de baterías y cambio automático de alimentación, circuito de control del inversor, circuito de excitación o de disparo, inversor de potencia” (p.70)

Figura 15. Diagrama de bloques de sistema híbrido.



Fuente: elaboración propia

Figura 16. Esquema funcional de sistema híbrido.



Fuente: Rodríguez, Fernández, y García. (2011). *Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica*. Consultado el 04 de noviembre de 2021. Recuperado de [doi:https://doi.org/10.21501/issn.2145-4086](https://doi.org/10.21501/issn.2145-4086)

7.6. Sistema de bombeo de agua

Un sistema de bombeo de agua según Rojas (2017) indica que es un conjunto de varios elementos de diferentes ámbitos por mencionar el ámbito estructural como el civil, hidráulica, tuberías y demás accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de una fuente de abastecimiento y la trasladan a un reservorio de almacenamiento o directamente la distribuyen.

7.6.1. Elementos de un sistema de bombeo de agua

Los componentes básicos de un sistema de bombeo son los siguientes según Rojas (2017):

Caseta de bombeo, Cisterna de bombeo, Equipo de bombeo, Tubería de succión, Tubería de impulsión, Válvulas de regulación y control, Equipos para cloración, Interruptores de máximo y mínimo nivel, Centro de control de Motores (CCM), Sistema de ventilación, natural o mediante equipos, Área para el personal de operación, Cerco de protección para la caseta de bombeo (p.46).

7.6.2. Bombas hidráulicas

Básicamente una bomba de agua es un motor de AC cuya función es convertir la energía eléctrica en energía mecánica, Rojas (2017) hace mención que una bomba hidráulica absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro. Es

decir que se emplean para bombear cualquier tipo de fluido como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos y algunos otros líquidos alimenticios.

7.6.2.1. Clasificación de las bombas hidráulicas

La clasificación de las bombas hidráulicas se da en base a los siguientes criterios descritos por Rojas (2017), los criterios que menciona son las aplicaciones, materiales con las cuales se construyen, hasta sus características mecánicas, por lo que ciertas bombas funcionan con un movimiento alternativo y otras con movimiento de rotación continuo, aunque el sistema de movimiento no permite su clasificación desde el punto de vista rotacional; por el contrario, su modo de accionar sí permite clasificarlas.

Sin embargo, de acuerdo a Rojas (2017), bajo el criterio en el que se basa el principio por el cual se adiciona energía al fluido. las bombas pueden dividirse en tres grandes grupos: el primer gran grupo es el de las bombas volumétricas:

A este tipo pertenecen no solo las bombas alternativas, sino también las rotativas llamadas roto estáticas; en ellas el rodete comunica energía al fluido en forma de presión. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo. En una bomba de desplazamiento positivo o volumétrico, la cavidad de la máquina, cuyo volumen varía periódicamente, va unida de forma alternativa al orificio de aspiración o al de descarga. El desplazamiento del líquido se efectúa por volúmenes engendrados. Las bombas volumétricas pueden ser de movimiento alternativo o rotativo continuo (p.42)

El segundo tipo de bombas de agua es el de las bombas rotodinámicas que se describen:

Son rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; su órgano de transmisión de energía se llama rodete. Se llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y el rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética. La energía mecánica que recibe puede ser de un motor eléctrico, térmico, etc. y posteriormente la convierte en energía hidráulica, que el fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. (Rojas, 2017, p. 42)

La tercera clasificación de los tipos de bombas de agua es el de las bombas centrífugas la cual se describe a continuación.

Una rueda alabeada comunica presión y velocidad al líquido que mueve, para que, a la salida de dicha rueda, la energía cinética producida por esta velocidad se transforme en energía potencial (presión) en una parte fija llamada difusor. Tiene un sistema simétrico de álabes que son parte esencial del elemento rotativo de la máquina que se denomina impulsor.

Al circular el flujo a través de estos sistemas de álabes cambia la componente de velocidad absoluta, aumentando a través del impulsor de la bomba (Rojas, 2017, p. 43).

7.6.2.2. Clasificación de las bombas según su disposición en la instalación.

De acuerdo a Alonso y Chenlo (2005), se pueden clasificar las bombas de agua según el criterio de la disposición de las mismas en la instalación y sería la siguiente:

La primera clasificación serían las bombas sumergibles de acuerdo con (Alonso y Chenlo, 2005, pág. 20) “suelen utilizarse en pozos profundos de pequeños diámetros y normalmente están directamente al motor”.

La segunda clasificación serían aquellas bombas flotantes, de acuerdo con Alonso y Chenlo (2005) “dispone de un flotador que permite su instalación en ríos, lagos o pozos de gran diámetro, flotando en la superficie del agua, proporcionando mucho caudal pero a poca altura manométrica” (pág, 20)

La tercera clasificación hace mención a las bombas de superficie, de acuerdo con (Alonso y Chenlo, 2005, pág. 20) “se instalan a nivel del suelo facilitando su mantenimiento, no obstante la profundidad de succión no debe exceder de los ocho metros.

7.7. Normativas que regulan el pliego tarifario y la conexión de usuarios auto productores con excedentes de energía (UAEE).

En relación a las normativas que rigen el pliego tarifario para usuarios finales del servicio distribución en nuestro país se hace referencia a La Ley General de Electricidad, El Reglamento General de La Ley General de Electricidad y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

7.7.1. Ley General de Electricidad (LGE)

La Ley General de Electricidad en su artículo 61 establece:

Las tarifas a usuarios de Servicio de Distribución Final serán determinadas por la Comisión, a través de adicionar las componentes de costos de adquisición de potencia y energía, libremente pactados entre generadores

y distribuidores y referidos a la entrada de la red de distribución con los componentes de costos eficientes de distribución a que se refiere el artículo 60. Las tarifas se estructurarán de modo que promuevan la igualdad de tratamiento a los consumidores y la eficiencia económica del sector. En ningún caso los costos atribuibles al servicio prestado a una categoría, la de usuarios podrán ser recuperados mediante tarifas cobradas a otros usuarios (Ley General de Electricidad, 2014, p. 15).

7.7.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE)

Siempre en la misma línea del establecimiento del pliego tarifario de acuerdo a lo establecido por el Reglamento de la Ley General de Electricidad en su artículo 80 establece:

La Comisión aprobará por Resolución, para cada empresa de Distribución, opciones de estructuras tarifarias para las ventas a los consumidores que estén por debajo del límite fijado en la definición de Gran Usuario, en la zona en la que se le autorizó a prestar el servicio, aplicables a categorías de consumidores definidas en función de las características del suministro y del consumo de electricidad, en base a los cargos indicados en el artículo anterior o una combinación de ellos Reglamento de la Ley General de electricidad (Reglamento de La Ley General de Electricidad, 1997, p. 41)

Tal y como lo establece La Ley General de Electricidad y El Reglamento de referida Ley, el ente encargado de establecer el pliego tarifario para usuarios regulados es La comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) mediante las resoluciones que dicha entidad publica en su página web.

7.7.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

De acuerdo a lo establecido en la resolución 146-2019 de la CNEE en su apartado III se establecen las Categorías Tarifarias.

Todos los Usuarios del Servicio de Distribución Final de la distribuidora deberán estar asignados a una de las categorías indicadas en este pliego tarifario. La Distribuidora hará del conocimiento de las tarifas disponibles al interesado o Usuario para que éste pueda establecer la tarifa que le aplique, de acuerdo a sus características y requerimientos de consumo, así como del nivel de tensión al que requiere conectarse; en caso que el interesado o Usuario no la pueda determinar, la distribuidora deberá aplicar la tarifa que represente el mayor beneficio para el Usuario. Una vez establecida la tarifa correspondiente, ésta tendrá vigencia mínima de seis (6) meses (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2019, p. 11).

La resolución de la CNEE 146-2019 hace referencia a la tarifa de los servicios auto productores y dicta lo siguiente:

Baja Tensión Simple Autoprodutores (BTSA): es una tarifa en Baja Tensión aplicable a usuarios autoprodutores con excedentes de energía conectados en baja tensión, la medición se realiza con medidor de energía bidireccional sin medición de potencia. Está compuesta por un Cargo por Consumidor (CF) y un Cargo Unitario por Energía (CUE). En los pliegos tarifarios trimestrales se desagregará el Cargo Unitario por Energía en sus diferentes cargos de energía y el cargo mensual de potencia, para que permita la aplicación, facturación, y registro de los excedentes de energía, de acuerdo a lo establecido en la normativa específica que rige a este tipo de usuarios (CNEE, 2019, pp. 15-16).

De la misma manera hace referencia a otro tipo de tarifa para servicios autoprodutores con mayor capacidad en su potencia instalada y dicta lo siguiente:

Baja Tensión con Demanda Autoprodutores (BTDA): es una tarifa en Baja Tensión con demanda máxima aplicable a usuarios autoprodutores con excedentes de energía, la medición se realiza con medidor de energía bidireccional, Potencia Máxima Demandada y Potencia de Punta Demandada. Está compuesta por un Cargo por Consumidor (CF), un Cargo por Energía (CE), un Cargo por Potencia de Punta (CPP) y un Cargo por Potencia Contratada (CPC) (CNEE, 2019, p. 18).

Por último, hace referencia a la tarifa para servicios autoprodutores con una tarifa en Media Tensión y dicta lo siguiente:

Media Tensión con Demanda Autoprodutores (MTDA): es una tarifa en Media Tensión con demanda máxima aplicable a usuarios autoprodutores con excedentes de energía, la medición se realiza con medidor de energía bidireccional, Potencia Máxima Demandada y Potencia de Punta Demandada. Está compuesta por un Cargo por Consumidor (CF), un Cargo por Energía (CE), un Cargo por Potencia de Punta (CPP) y un Cargo por Potencia Contratada (CPC) (CNEE, 2019, p. 18).

7.7.4. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (NTGDR)

Que el 16 de septiembre de 2008, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica emitió la Resolución CNEE-171-2008, mediante la cual aprobó la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable –NTGDR- y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía.

De acuerdo lo especificado por Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía NTGDR (2014) específicamente en el capítulo IV se indica el proceso de Autorización para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía en este apartado se especifica la competencia del Usuario, que debe especificar mediante formulario correspondiente al distribuidor que desea participar en esta categoría sin recibir remuneración por la inyección de energía excedente.

Prácticamente será para autoconsumo cumplido este requisito podrán participar en esta modalidad, cabe la pena añadir que el Usuario deberá suministrar los dispositivos necesarios para la protección, control y desconexión automática adecuados para garantizar que no se inyectará energía a la red de distribución en condiciones de falla de este.

De manera adicional y en el mismo apartado la NTGDR (2014), especifica plazo para la inspección técnica por parte del distribuidor para posteriormente dar el visto bueno para realizar el cambio de medidor correspondiente el cual realizara las lecturas correspondientes de la generado por el usuario y lo demandado a la red de distribución, así como la suma algebraica de ambos.

Si la suma algebraica determina que hay un excedente en la energía demandada a la red de la distribuidora este consumo de energía se cobrara a la tarifa correspondiente, si el excedente es energía producida por el usuario dicha energía se acumulará hasta que el Usuario lo haya consumido, cabe la pena resaltar que para usuarios cuya tarifa no aplique el pago de potencia, el distribuidor tendrá la facultad de cobrar el cargo por distribución de lo demandado en concepto de energía de la red de distribución, cada rubro deberá ir bien detallado en la facturación mensual del usuario.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

- 1.1 Estudios previos (recientes)
- 1.2 Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Energía solar
 - 2.1.1. Radiación solar
 - 2.1.2. Movimiento del sol
 - 2.1.3. Radiación solar en San Andrés Itzapa
- 2.2. Energía solar fotovoltaica
 - 2.2.1. Sistema de energía solar fotovoltaica
- 2.3. Sistema solar fotovoltaico aislado
 - 2.3.1. Aplicaciones de un sistema solar fotovoltaico aislado
 - 2.3.2. Elementos de un sistema de generación solar fotovoltaico
 - 2.3.2.1. Generador fotovoltaico
 - 2.3.2.2. Funcionamiento de un panel fotovoltaico

- 2.3.2.3. Características de los paneles fotovoltaicos
- 2.3.2.4. Sistemas de almacenamiento (baterías)
- 2.3.2.5. Funcionamiento general de las baterías
- 2.3.2.6. Clasificación de las baterías
- 2.3.2.7. Baterías de Ión-Litio para instalaciones fotovoltaicas aisladas de red
- 2.3.2.8. Regulador de carga
- 2.3.2.9. Inversor DC/AC
- 2.3.2.10. Inversores aislados de la red
- 2.3.2.11. Inversores sincronizados a la red
- 2.3.2.12. Inversores para almacenamiento de energía
- 2.3.2.13. Inversores híbridos
- 2.4. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red
- 2.5. Sistema de generación híbrida
- 2.6. Sistema de bombeo de agua
 - 2.6.1. Elementos de un sistema de bombeo de agua
 - 2.6.2. Bombas hidráulicas
 - 2.6.2.1. Clasificación de las bombas hidráulicas
 - 2.6.2.2. Clasificación de las bombas según su disposición en la instalación
- 2.7. Normativas que regulan el pliego tarifario y la conexión de usuarios auto productores con excedentes de energía
 - 2.7.1. Ley General de Electricidad (LGE)
 - 2.7.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE)
 - 2.7.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

- 2.7.4. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (NTGDR).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Características del estudio

- 3.1.1. Diseño
- 3.1.2. Enfoque
- 3.1.3. Alcance
- 3.1.4. Unidad de análisis

3.2. Variables

3.3. Fases del desarrollo de la investigación

- 3.3.1. Fase 1 Exploración bibliográfica
- 3.3.2. Fase 2 Recolección de la información
- 3.3.3. Fase 3 Análisis cuantitativo de la información
- 3.3.4. Fase 4 Determinación de los parámetros de los elementos que conformarán el sistema fotovoltaico.
- 3.3.5. Fase 5 Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO (si aplica)

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se analizan parámetros eléctricos de un sistema de alimentación de energía eléctrica que brinda energía a un sistema de bombeo de agua existente, y en base a ese análisis se evaluará el estado de las instalaciones actuales para determinar si es necesario realizar algún tipo de corrección del tipo preventivo y correctivo si fuera necesario esto se da desde un punto de vista de confiabilidad y eficiencia energética para que se pueda implementar el sistema de respaldo y autoconsumo que brindará soporte al sistema existente, dado a que.

El alcance es descriptivo, correlacional, dado que se tiene como fin realizar el diseño y calculo correspondiente de cada una de los elementos que conformaran el sistema Híbrido fotovoltaico de respaldo y autoconsumo, determinando sus características técnicas y criterios para que la instalación sea funcional por medio de cálculos eléctricos de las variables involucradas.

De manera adicional se realizará el análisis de las siguientes variables: tarifa actual del suministro, facturación mensual, costo inicial de inversión, análisis de beneficio costo, tiempo de retorno de inversión, proyección de facturación mensual orientada a la tarifa que emigraría el suministro,

determinación del ahorro mensual utilizando las herramientas correspondientes a cada caso.

El diseño abordado será de tipo no experimental dado que no se tiene control de modificar las variables de investigación. Esto debido a que se analizará un suministro de energía eléctrica ya existente cuyos parámetros se puede mencionar el Voltaje de Línea en Media Tensión, capacidad del banco de transformación, Voltaje de Baja Tensión en el secundario del banco de transformación, sistemas de seccionamiento y protección, dispositivos de control y mando de la bomba de agua, radiación solar, movimiento del sol. Por lo tanto, se realizará el análisis de cada uno de ellos en su función para obtener los datos requeridos cuyas características no dependen del investigador.

Se analizarán los fenómenos descritos en el marco teórico específicamente los producidos por la energía solar para determinar relaciones entre algunas variables y establecer criterios a partir de la observación de los fenómenos y se tomará en cuenta información de estudios previos y normativa vigente, para que por medio de herramientas estadísticas se pueda brindar solución al problema central planteado mediante el cumplimiento de los objetivos.

9.2. Unidades de análisis

La unidad de análisis del trabajo de investigación será un sistema híbrido fotovoltaico que va a funcionar tanto aislado de la red de distribución (sistema de respaldo) como conectado a la red de distribución (autoconsumo-autoproducción) cuyas propiedades se deben tomar en cuenta, la radiación solar en San Andrés Itzapa, así como el movimiento del sol, espacio para cantidad de unidades

generadoras a instalar (paneles solares) cantidad y tipo de inversores a instalar, cantidad, capacidad y tipo de baterías a instalar.

Esta unidad de análisis va relacionada a las características del banco de transformadores existentes, así como a todos los elementos que conforman el Centro de control de Motor y a las características de la bomba instalada actualmente.

9.3. Variables

Las variables en análisis del presente trabajo de investigación en su gran mayoría provienen de los parámetros eléctricos del sistema que brinda alimentación eléctrica al sistema de bombeo, sin embargo, se toman en cuenta también el entorno físico y también todo lo relacionado a la energía solar, son cualidades que por lo general resultan obteniendo un valor numérico, en la siguiente tabla se describen las variables que se analizarán en el presente trabajo de investigación.

Tabla VI. Tipos de variables

Variable	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Potencia eléctrica				X		X	Razón
Nivel de voltaje			X			X	Razón
Consumo de energía				X	X		Razón
Centro de control de motor		X			X		Ordinal
Cantidad de unidades generadoras			X		X		Razón
Ubicación		X			X		Nominal
Cantidad de unidades de almacenamiento			X		X		Razón
Tipos de Tarifa		X				X	Ordinal
Tipos de conexión		X			X		Nominal
Cantidad de inversores			X		X		Razón
Radiación solar				X		X	Razón
Movimiento del sol			X			X	Razón

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Descripción de variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Potencia eléctrica	Indicación de cuánto trabajo que sería conversión de energía de una forma a otra en un determinado tiempo	Se tomarán los datos de la potencia instalada del banco de transformación, así como la potencia demandada, y en base a ello se determinarán la potencia de los paneles y de los inversores. La Unidad de Medida sería KVA, KW
Nivel de voltaje	El voltaje es la magnitud física que, en un circuito eléctrico, impulsa a los electrones a lo largo de un conductor	Se tomarán los niveles de voltaje de la LMT existente, así como el voltaje de la bomba de agua mediante multímetro y en base a ello determinar el nivel de voltaje de los inversores. La Unidad de medida sería KV y V
Consumo de energía	El consumo energía eléctrica es durante cuánto tiempo se realiza un trabajo para que se dé el proceso de conversión de energía.	Se tomarán los datos del historial de consumo de energía del sistema de bombeo actual. La unidad de medida será KWh
Centro de control de motores	Centro de control de motores	Se evaluará el estatus actual del CCM y si contiene los elementos necesarios validando sus valores nominales de corriente y voltaje desde el punto de vista técnico para que funcione óptimamente. La Unidad de medida será A, V
Cantidad de unidades generadoras	Plancha de vidrio, estaño y otros materiales, que se coloca en un lugar despejado y recoge la energía solar para conducirla a un transformador de energía eléctrica.	En base a las características del sistema de bombeo actual y banco de transformadores se definirá la cantidad, característica y tipo de unidades generadoras. La Unidad de Medida V y W

Continuación tabla VII

Ubicación	Situación o lugar en el que se encuentra un elemento.	Se evaluará mediante cinta métrica el espacio actual en donde se tenga instalado el sistema de bombeo para determinar la opción más óptima para la instalación del sistema híbrido fotovoltaico: Unidad de medida m, m ²
Cantidad de unidades de almacenamiento	Elemento para el almacenamiento de la energía de reserva para ser utilizado posteriormente	Se determinarán las características, cantidad de las baterías que conformarán el banco de baterías mediante los datos Voltaje y Corriente del Sistema. Unidad de Medida Ah
Tipos de tarifa	Precio fijado de forma oficial por la CNEE para brindar el servicio de energía eléctrica al usuario final.	Se realizará un comparativo de la tarifa actual y de la tarifa al cual el suministro puede optar al ser autoprodutor: Unidad de medida tipo KWh
Tipos de conexión	Configuración del conexionado del banco de transformadores, así como las conexiones del sistema aislado de la red y conectado a la red de distribución.	Se analizarán la configuración de conexiones del banco de transformadores actual, así como los tipos de conexión del sistema híbrido a implementar. Unidades de Medida V, A
Cantidad de inversores.	Dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal)	Se determinará la cantidad de inversores acorde a la cantidad de paneles solares a instalar y sus características de Voltaje y Corriente. Unidades de medida V, A
Radiación solar	Energía emitida por el sol	Se determinará la radiación solar en el área de San Andrés Itzapa, Chimaltenango por medio del Global Solar Atlas. Unidad de Medida Irradiación $\frac{W}{m^2}$

Continuación tabla VII

Movimiento del sol	Dibuja trayectorias diferentes según las estaciones del año	Se determinará el movimiento del sol de acuerdo a las estaciones del año mediante la altura y azimut solar. Unidad de medida α , ψ
--------------------	-------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases de estudio

El presente estudio se llevará cabo en 5 fases con ello se pretende abarcar lo requerido por cada objetivo propuesto para solventar el problema planteado.

9.4.1. Fase1: Exploración bibliográfica

En la primera fase se llevará a cabo una revisión exhaustiva y precisa de toda la bibliografía disponible relacionada al tema de investigación, estudios realizados con sistemas fotovoltaicos, sus campos de aplicación y todo lo relacionado con sistemas de bombeo de agua, esta exploración bibliográfica se dividirá en cuatro partes. La primera parte será la revisión de toda la bibliografía relacionada a los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, los elementos que lo conforman, los tipos de carga que alimentan.

La segunda parte será la revisión de toda la bibliografía relacionada a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, los elementos que lo conforman, los tipos de carga que alimenta, en la tercera se abarcará la bibliografía relacionada a los sistemas de bombeo de agua sobre todo las que más se asemejen al tipo de bomba de agua existente del municipio. La cuarta parte será la revisión de toda la bibliografía relacionada a los sistemas híbridos existentes sobre todo su

estructuración, los elementos que lo conforman, así como sus campos de aplicación, pero sobre todo su metodología de conexión. Por último, se revisará todo lo relacionado a la Normativa vigente que rige el tema de los sistemas de autoconsumo o autoproducción como se le denomina a este tipo de servicios, de manera adicional se consultara la bibliografía relacionada a los sistemas híbridos cuyos estudios ya fueron finalizados.

Esta fase es sumamente importante debido a que en ella se cimentaran las bases del trabajo de investigación de ella dependerá la solidez del tema y proporcionará las herramientas necesarias para el campo de aplicación.

9.4.2. Fase 2: Recolección de la información

En la segunda fase se procederá a la recolección de información, esta fase es importante debido a se pretende realizar un diseño para la implementación de un sistema de respaldo y autoconsumo para un suministro existente, este es el punto de partida de esta fase que todo va girar en torno a un sistema ya establecido y en funcionamiento por lo que se procederá como primer paso definir qué elementos conforman el sistema.

Dentro de los cuales se hace mención de los siguientes: Voltaje de la Línea de Media Tensión (MT), capacidad del banco de transformadores instalado, tipo de conexión en lado de Media Tensión (MT) como del lado de baja tensión, calibre de conductores eléctricos, evaluación del estatus del Centro de Control de Motores (CCM) así como cada uno de los elementos que lo conforman, así como el sistema de puesta a tierra (spt) del banco de transformadores como del CCM y de la bomba de agua como tal, capacidad de la bomba de agua, sus componentes y de ello se obtendrá sus parámetros eléctricos.

Luego como segundo paso se indagará el histórico de fallas e interrupciones que ha tenido el suministro de energía eléctrica durante el último año, esto se podrá obtener indagando en la distribuidora las fallas o interrupciones atribuibles o no la distribuidora directa o indirectamente y que hayan afectado al ramal al cual está conectado el sistema de bombeo de agua del municipio, para obtener un panorama claro del problema a solventar, dentro de los datos a recabar es el histórico de consumo de energía eléctrica del último año.

Dentro de los parámetros solares que se obtendrán será el tema de la radiación solar en el municipio de San Andrés Itzapa, así como los datos del ángulo y azimut solar y el comportamiento de los mismos, de la misma manera y no menos importante se deberá obtener la información correspondiente al lugar disponible para la instalación FV en concepto de área con el que se cuenta para la instalación del sistema solar FV.

Por último, dentro de los dentro de la recolección de datos se toma en cuenta el apartado de mediciones que se realizaran tal es el caso de la resistencia de aislamiento, medición correspondiente al sistema de puesta a tierra, voltajes y corrientes, lo anteriormente se podrá lograr mediante un sistema de medición de calidad de energía global o en todo caso se podrá realizar de manera individual.

9.4.3. Fase 3: Análisis cuantitativo de la información

Producto de la información recabada en la fase anterior se procederá a realizar el respectivo análisis cuantitativo de cada uno de los parámetros obtenidos que en su gran mayoría son índole eléctrica y lo primero que se realizará la clasificación general de esta información primero se analizarán por separado para luego encontrar el punto de intersección de cada uno de ellos

dicha clasificación se realizará de la siguiente manera: la primera y la de mayor envergadura sería la información de los parámetros eléctricos para ello se utilizarán las expresiones matemáticas correspondientes a la Ley de Ohm de circuitos de corriente alterna como base para efectuar cada cálculo necesario y correspondiente de acuerdo a la funcionalidad de cada elemento analizado, esto se hará con la finalidad de que se cumpla con el requerimiento de confiabilidad eléctrica.

Cabe la pena resaltar que todo el sistema eléctrico deberá cumplir con el tema de confiabilidad al 100 % previo a realizar el diseño del sistema híbrido deseado, la segunda clasificación será el tema de los parámetros solares y todos los elementos que engloban este tema, estos se podrán realizar utilizando las herramientas proporcionadas por la web.

La tercera clasificación será la de todos aquellos aspectos mecánicos involucrados en tema de investigación, así como los aspectos de espacio y lugar tentativo para la instalación del sistema de paneles.

El historial de fallas del suministro es una clasificación adicional a la primera, así como el consumo de energía eléctrica ambos son parámetros eléctricos sin embargo su análisis realizará por medio de herramientas estadísticas.

9.4.4. Fase 4: Determinación de los parámetros de los elementos que conformarán el sistema solar fotovoltaico

Esta fase es de suma importancia ya que en la misma se tomará todo el análisis cuantitativo de la información realizada en la fase anterior, y con base a ella se determinará por medio de un diseño muy bien definido cada uno de los parámetros correspondientes de los elementos que conformarán el sistema solar FV a implementar, tomando en cuenta que se desea determinar los o el modelo híbrido adecuado que garantice el respaldo y autoconsumo del sistema de bombeo de agua de mayor envergadura del municipio.

La determinación a la que se hace referencia será de suma utilidad ya que actualmente en los estudios previos y en los antecedentes no se cuenta con un estudio similar.

9.4.5. Fase 5: Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica

En esta fase se realizará la interpretación de los resultados obtenidos en cada uno de las fases anteriores, así mismo se llevará a cabo un estudio de beneficio/costo en donde se tomarán en cuenta los datos de la reducción de la facturación mensual que se producirá al implementar el sistema solar FV, estos datos se podrán simular sobre todo teniendo las características de cada uno de los elementos que conformarán el sistema solar FV. y con ellos se podrá determinar el impacto sobre la facturación mensual, el ahorro que se presenta producto de que se solicitará a que se autorice el servicio a ser un suministro auto productor con esos datos se complementará el estudio antes mencionado y el cálculo correspondiente al tiempo de retorno de la inversión inicial.

Esta fase es sumamente importante ya que trata el tema económico del proyecto la factibilidad del mismo producto de lo que sería una gran inversión inicial, se realizará un análisis exhaustivo de los costos y de la determinación del valor a los beneficios ya que no en todos los casos un beneficio como tal puede a un valor numérico de costo, en la misma línea se realizará un análisis de tasa interna de retorno de inversión.

Por último, en esta fase se valorará la factibilidad técnica producto de la evaluación del sistema actual bajo la premisa de un sistema confiable y eficiente desde un punto de vista de confiabilidad eléctrica.

9.5. Resultados esperados

Con esta investigación se pretende combinar un sistema FV aislado de la red con un sistema FV conectado a la red ya que existen varios estudios previos por separado y este será un diseño que combinará ambos tipos conformando un sistema híbrido, de manera adicional se desea establecer parámetros de sistemas híbridos de respaldo y autoconsumo a partir de la capacidad instalada de una carga en específico, así mismo se espera que este sistema se pueda implementar a nivel nacional, no solo en las municipalidad sino que a cualquier tipo de carga crítica que amerite tener un sistema de respaldo independiente de los combustible fósiles, con el aprovechamiento de energías renovables.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Los resultados obtenidos en la fase de recolección de datos serán de primera mano por lo que se podrán catalogar como fuentes de recolección primaria, en su gran mayoría son parámetros eléctricos para efectos del trabajo de investigación y en aras de ir dándole un ordenamiento a los mismos las técnicas de análisis que se realizarán serán las siguientes:

10.1. Técnicas de recolección de datos

Existen varias técnicas de recolección de datos sobre todo si la delimitación de la técnica se hace en base a los datos cuantitativos que se están recolectando ya que implica la utilización de números y los resultados que se obtienen con esta técnica son: resultados generalizados el control sobre algún fenómeno que para efectos de este trabajo de investigación sería el efecto fotoeléctrico, datos de precisión y hasta predicción, por mencionar algunos.

Dentro de los tipos de recolección de datos cuantitativos se hace mención a las entrevistas, encuestas pruebas objetivas, escalas, líneas de cotejo sin embargo el tipo de recolección de datos en su gran mayoría en esta trabajo de investigación será por medio de la observación y al mismo tiempo toma de datos en donde será necesario elaborar mediante Excel hojas de cálculo que nos permitirán primeramente ordenar la información y luego elaborar las ecuaciones pertinentes de la ley de Ohm para efectuar los calculas pertinentes y comparar los cálculos que en teoría deberá tener cada elemento con el valor que tienen actualmente ésta comparativa se podrá realizar con el ordenamiento lógico brindado por Excel.

10.2. Distribución de frecuencias

Esta herramienta estadística se utiliza cuando se recolecta una serie de datos de una población específica y su principal utilidad es representar los datos de tal manera que sea más sencillo analizarlos esta herramienta nos será de utilidad al momento de analizar las incidencias de interrupción o falla en el suministro, así como en el comportamiento en el consumo de energía eléctrica del suministro durante el último año, de manera adicional será de suma importancia en los datos de radiación y movimiento solar.

10.3. Medidas de tendencia central

Otra de las herramientas a utilizar para el análisis de los datos obtenidos son las medidas de tendencia central tema que va muy relacionado con la distribución de frecuencias es decir que también será mucha utilidad para los datos que se indicaron en el apartado anterior, ya que será mucha importancia poder obtener mediante un solo resultado el comportamiento de una muestra, como es el caso de nuestra muestra de radiación solar, consumo de energía eléctrica en un determinado tiempo, cantidad fallas e interrupciones en el suministro, etc.

10.4. Medidas de variabilidad

Como parte de la estadística descriptiva se mencionan también las medidas de variabilidad y es específicamente la variación de un valor con respecto a un valor base o dicho de otra manera un valor estándar o deseado que tan lejos o que tan cerca puede estar un valor cualquier en relación a un valor deseado esto

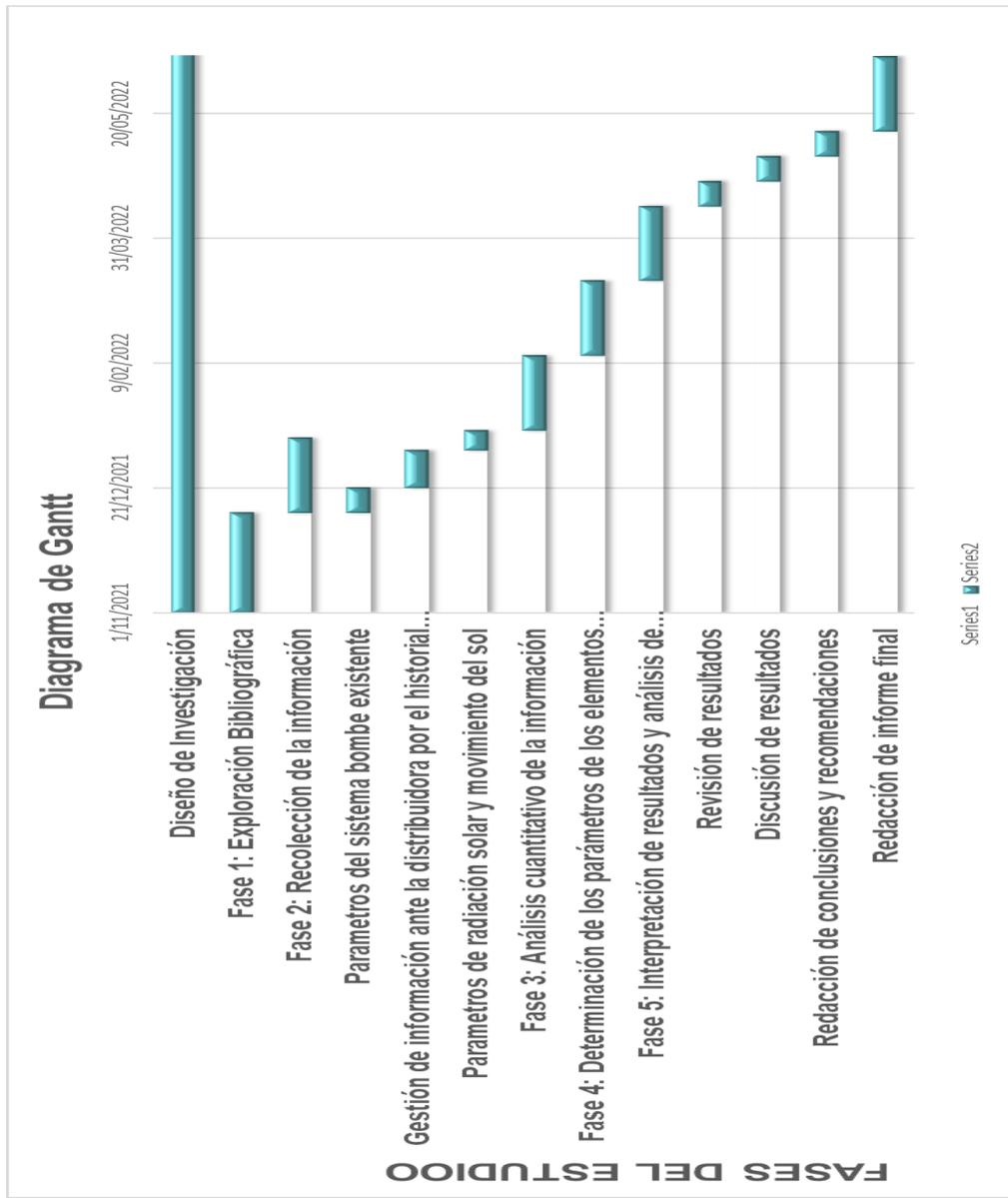
se utilizará en la selección de los tipos de equipos que conformarán el sistema híbrido fotovoltaico específicamente de los paneles solares, inversores, baterías esto comparado con los disponibles en el mercado, los más utilizables en el mercado y los de bajo costo.

10.5. Análisis de beneficio/costo

El tema económico es otro punto importante en el trabajo de investigación ya que el implementar este sistema híbrido resulta tener un alto costo de inversión y si se visualiza únicamente desde el punto de vista de inversión sin retorno no sería del todo viable, sin embargo, es necesario realizar el estudio correspondiente analizando ambas variables en un estudio por lo que será necesario realizarlo un estudio de beneficio/costo. Los métodos comunes para llevar a cabo el Análisis beneficio/costo incluyen: punto de equilibrio, período de devolución, valor presente neto y la tasa interna de retorno, los cuales para efectos de este trabajo de investigación se llevarán a cabo de una manera completa.

11. CRONOGRAMA

Figura 17. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio es factible desde el punto de vista que se cuenta con el recurso humano y el tiempo necesario para realizarlo, ya que es un sistema de bombeo existente a analizar, se contará con acceso a la información, así como la tecnología adecuada para la toma de datos y las mediciones correspondientes.

A continuación, en la tabla siguiente se describen los gastos que conllevará el realizar el trabajo de investigación los cuales serán cubiertos por el investigador.

Tabla VIII. **Tabla de gastos para la investigación**

Fase a Trabajar	Descripción del Recurso	Monto (Q)
1	Accesorios de oficina	1,000.00
2	Viáticos de visitas para la recolección de la información, así como alquiler del equipo de medición	10,000.00
3	Accesorios de oficina	1,000.00
4	Diseño del Sistema a Implementar	4,500.00
5	Interpretación de Resultados y Análisis correspondientes	4,500.00
	Total	21,000.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Abla, K., y Salah, B. (2018). *Sizing methodology for hybrid photovoltaic wind hydrogen battery integrated to energy management strategy for pumping system*. Túnez: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.073>
2. Alonso, M. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas. Recuperado de <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45335.pdf>
3. Alonso, M., y Chenlo, F. (2005). *Sistema de bombeo fotovoltaico*. Madrid: Departamento de Energías Renovables.
4. Arenas, D., y Hodman, Z. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244A681.pdf>
5. Arenas, D., y Zapata, H. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244A681.pdf>
6. Cardona, D., Amado, J., y Martínez, F. (2015). *Respaldo eléctrico con recursos renovables estudio de viabilidad*. Visión Electrónica 114. doi:<https://doi.org/10.14483/22484728.11021>

7. Castillo, E. (2015). *Diseño de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conectada a red para autoconsumo bajo normativa de generación distribuida NTGDR de los edificios S1 y M5 del campus central de la USAC* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1055/1/Erick%20Rodolfo%20%20Castillo%20%20Villatoro.pdf>
8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE. (12 de 10 de 2018). *CNEE*. Guatemala, Autor.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (25 de Junio de 2019). *CNEE*. Guatemala, Autor.
10. Fernández, L. (2021). *Diseño y simulación de instalaciones fotovoltaicas aisladas para aplicaciones de autoconsumo en zonas rurales con difícil acceso a la red eléctrica*. Oviedo. Recuperado de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/58084/TF_G_LuciaFernandezFernandez.pdf?sequence=3&isAllowed=y
11. GROUP, W. B., ESMAP, y SOLARGIS. (3 de Noviembre de 2021). *Global Solar Atlas*. Recuperado de *Global Solar Atlas*: <https://globalsolaratlas.info/map?c=24.20689,-52.03125,2>
12. Guillermo, O. (19 de Abril de 2021). *Selectra* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/inversor-solar>

13. Lamigueiro, O. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid, España: Creative Commons. Recuperado de <http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>
14. Lata, J. C. (2019). *Mejoras al dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos con energías renovables* (tesis de doctorado). Universidad de Jaén. Recuperado de <https://ruja.ujaen.es/jspui/handle/10953/949>
15. Ley General de Electricidad. (Agosto de 2014). CNEE. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LeyGeneraldeElectricidad2014.pdf>
16. Maldonado, H., y Jarquín, M. (2016). *Evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema híbrido de bombeo de agua implementado en la comunidad el limón, Estelí Nicaragua, durante el año 2016* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de Managua. Managua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/5451/1/17843.pdf>
17. Martínez, O. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de control automático para almacenamiento de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15875/1/Oscar%20Gonzalo%20Mart%C3%ADnez%20Mayorga.pdf>
18. Martínez, Y., y Huguet, R. (2010). *Estaciones de bombeo evolución y futuro*. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Recuperado de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000300010

19. Méndez, J., y Cuervo, R. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: España. Fundación Confemetal. Recuperado de www.fundacionconfemetal.es
20. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía NTGDR. (25 de Agosto de 2014). *cnee*. Guatemala. Autor.
21. Oyervide Ojeda, P. M., y Hurtado, C. X. (2004). *Implementación de un procedimiento de inspección y reparación por soldadura de rodetes Pelton en la Central el Molino del Proyecto Hidroeléctrico Paute* (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1022>
22. Puig, P., y Jofra, M. (2011). *Solar fotovoltaica. Energías renovables para todos*. Madrid: La Suma de Todos. Recuperado de http://www.instalacionesindustriales.es/documentos/divrenovables/cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf
23. Reglamento de La Ley General de Electricidad (21 de Marzo de 1997). Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/ReglamentodelaLGE2014.pdf>

24. Robles, C. (2011). *Sistemas híbridos una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares*. Ingeniería Solidaria. Recuperado de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/357/362>
25. Rodríguez, J., Fernández, L., y García, A. (2011). *Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica*. Lámpsakos. doi:<https://doi.org/10.21501/issn.2145-4086>
26. Rojas, D. (2017). *Diseño del sistema de bombeo para el abastecimiento óptimo de agua potable del distrito de huancán huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancán, Huancán. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3677>
27. Rojas, R., y Limón, J. (2017). *Diseño selección instalación y puesta en marcha de un sistema fotovoltaico para el hotel meson san sebastian con conexión a red de cfe*. Chihuahua. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1932/1/TESIS.pdf>
28. Sánchez, D. (2012). *Sistema de energía solar fotovoltaica aislado para vivienda unifamiliar aislada*. Leganés. Recuperado de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16839/TFG_David_Sanchez_Quiroga.pdf?sequence=1&isAllowed=y
29. Ventura, P. (2018). *Electrificación rural y bombeo de agua utilizando paneles solares en el caserío sucha distrito de bambamarca provincia de hualgayoc departamento de cajamarca*. Departamento de Cajamarca, Lambayeque.

30. Xiaomo, Y., Wenjing, L., y Akbar, M. (2021). *Selection of optimal location and design of a stand alone photovoltaic scheme using a modified hybrid methodology*. doi:<https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.10107>

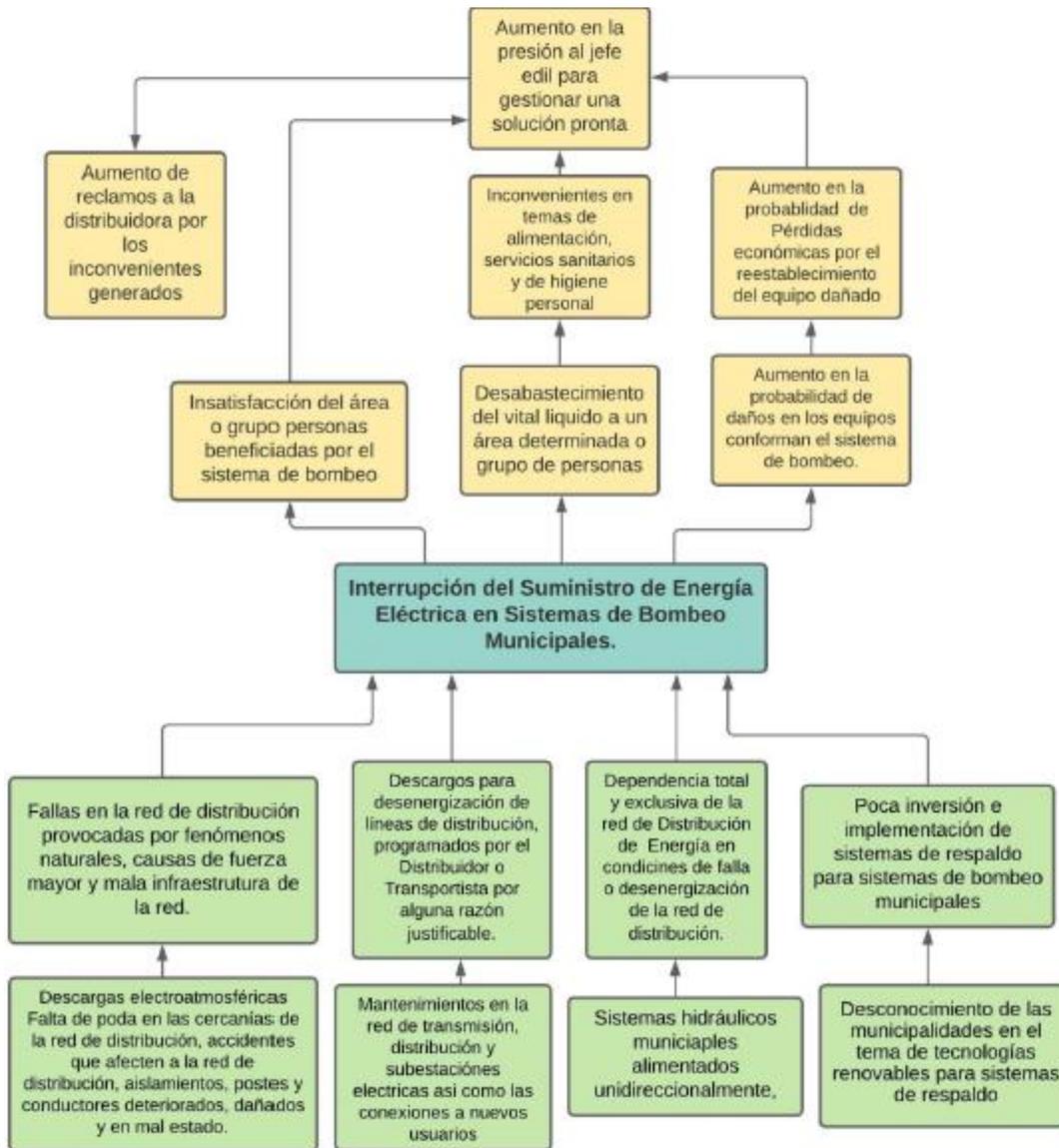
14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

MATRIZ DE COHERENCIA			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	METODOLOGÍA
<p>LAS FALLAS E INTERRUPTIONES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROVOCA LA DESENERGIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN UN SECTOR DEL MUNICIPIO DE SAN ANDRES ITZAPA DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO LO CUAL CONLLEVA A UN DESABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CUYO EFECTO ES NEGATIVO TANTO EN LA POBLACIÓN COMO EN EL JEFE EDIL RESPONSABLE DEL PAGO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE BOMBEO DADO A QUE EL MONTO DE LA FACTURACIÓN MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA ES CONSIDERABLEMENTE ELEVADO.</p>	<p>PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo garantizar la continuidad del suministro de energía eléctrica en un sistema de bombeo de un sector del municipio de San Andrés Itzapa, por medio de un sistema de respaldo y autoconsumo enfocado en la implementación de energías renovables cuando no se cuente con el servicio de distribución por cualquier razón?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Implementar un sistema de respaldo y autoconsumo que brinde continuidad y ahorro de energía eléctrica en condiciones normales, de falla y de interrupción programada en la red de distribución eléctrica.</p>	<p>FASES</p> <p>Exploración bibliográfica, Recolección de información, Análisis cuantitativo de la información, Determinación de los parámetros de los elementos que conformarán el sistema solar fotovoltaico, Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica</p>
	<p>AUXILIARES</p> <p>¿Qué modelo de sistema de respaldo y autoconsumo garantiza la continuidad del servicio energía eléctrica y ahorro, mediante uso de energías renovables?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar los modelos o modelo de respaldo y autoconsumo garantice la continuidad del servicio de energía eléctrica, así como el ahorro energético.</p>	<p>Análisis cuantitativo de la información, Determinación de los parámetros de los elementos que conformarán el sistema solar fotovoltaico</p>
	<p>¿Qué resultados tecno-económicos se obtendrían con la implementación de energías renovables en un sistema de respaldo y autoconsumo a un sistema de bombeo actual del municipio de San Andrés Itzapa?</p>	<p>Comprobar los resultados-tecnológicos económicos obtenidos en los análisis que se realicen producto de la implementación de energías renovables en un sistema de respaldo y autoconsumo en un sistema de bombeo existente del municipio de San Andrés Itzapa</p>	<p>Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica</p>
	<p>¿Cómo impactaría la facturación mensual del suministro de energía eléctrica con un sistema de respaldo y autoconsumo mediante energías renovables?</p>	<p>Determinar el impacto en la facturación mensual del suministro mediante resultados concretos que serían de afectación directa al consumidor final</p>	<p>Interpretación de resultados y análisis de factibilidad económica y técnica</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.