

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES

TESIS

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES
FOTOVOLTAICAS AUTÓNOMAS EN COMUNIDADES
MARGINADAS DE CHIAPAS"**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

PRESENTA
DARINA RAMOS CASTILLEJOS

DIRECTORES DE TESIS

Mtro. Oscar Martínez Aguirre
Ing. Luis Uriel Chalé Amores

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 21 de octubre de 2024





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Fecha: 11 de octubre de 2024.

C. Darina Ramos Castillejos

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Diseño e Implementación de Centrales Fotovoltaicas Autónomas en Comunidades

Marginadas de Chiapas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Neín Farrera Vázquez

Dr. Joel Pantoja Enríquez

Mtro. Óscar Martínez Aguirre

Firmas:

[Firma]
[Firma]
Oscar Martínez A.

Ccp. Expediente

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por ser mi guía y fortaleza siempre, por brindarme salud y sabiduría para poder concluir con esta etapa de mi vida.

A mis directores de tesis:

Al ingeniero Uriel por haberme brindado los conocimientos prácticos de la mejor manera posible y Oscar Martínez por ser un excelente profesor, compañero y director el cual me ayudo siempre en el proceso de mi formación.

Al Dr. Neín Farrera y al Dr. Joel Moreira Acosta:

Por haberme brindado la oportunidad de ser parte de este proyecto. Gracias por confiar en mí y permitirme reforzar mis conocimientos a través de su orientación y experiencia. Aprecio la oportunidad que me brindaron para contribuir con un proyecto que lleva por nombre “Diseño, desarrollo e implementación de sistemas energéticos renovables en comunidades pobres y marginadas del Estado de Chiapas” el cual tiene un impacto social muy significativo, que no solo me permitió aplicar mis habilidades técnicas, si no también ofrecer una mejora en la calidad de vida de las personas.

Al Instituto de Ciencia Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas

Por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo de tesis, que lleva por nombre “Diseño, desarrollo e implementación de sistemas energéticos renovables en comunidades pobres y marginadas del Estado de Chiapas”, especialmente por el financiamiento para la compra de los sistemas implementados en el proyecto.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chipas

Por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para desarrollarme en el ámbito profesional.

DEDICATORIA

A mis Padres:

Gilberto Ramos que donde quiera que este ahora sé que me observa con ojos de amor y felicidad, así como también a mi madre Miriam Castillejos, quien fue mi mayor soporte para continuar. siempre me brindaron el apoyo, motivación y amor para seguir adelante y jamás rendirme. Sin sus esfuerzos este logro no hubiese sido posible.

A mis abuelos:

Marbella y Gilberto, los cuales fueron mi inspiración en todo momento. Gracias por ser unos excelentes abuelos, por su amor incondicional y ser un ejemplo de vida para mí.

A mi hermano:

Gilberto gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles donde pensé en rendirme, verte seguir mis pasos fue lo que me mantuvo de pie siempre.

Finalmente quiero dedicarle este logro al pequeño pedacito de mi alma, Cesar Luis quien fue mi cura al corazón en los problemas que afrontaba, el pequeño que tiene el poder de convertir los días de estrés en alegría con simplemente una llamada.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	11
ABREVIATURAS Y DEFINICIONES.....	12
Términos Eléctricos	12
Términos Químicos.....	13
Otros Términos Relacionados	13
RESUMEN	14
ABSTRAC	15
CAPITULO 1 GENERALIDADES	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Planteamiento del problema.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Hipótesis	18
1.5. Objetivo general	18
1.6. Objetivos particulares.....	18
CAPITULO 2 ANTECEDENTES	20
2. Introducción.....	20
2.1. Orígenes de la energía solar y fotovoltaica	20
2.2. Desarrollo y aplicaciones iniciales de la energía solar	20
2.3. La era de la información y la dependencia de la energía	21
2.4. El costo de la energía solar y su evolución	21
2.5. Impacto social y económico de la energía solar.....	22
2.6. Desafíos y futuro de la energía solar	23
2.7. Implementación de sistemas fotovoltaicos en México.....	24
2.8. Implementación de sistemas fotovoltaicos en Chiapas.....	25

2.8.1.	Sistemas Fotovoltaicos Individuales en Nuevo Belén.....	26
2.8.2.	Microrredes Fotovoltaicas en El Tuzal y Villa del Río	27
2.8.3.	Evaluación de otros proyectos en Chiapas.....	27
2.8.4.	Propuesta de Mejoramiento.....	28
CAPITULO 3 MARCO TEORICO.....		29
3.	Introducción.....	29
3.1.	Energías renovables	29
3.2.	Energía solar.....	30
3.2.1.	Radiación solar	30
3.2.2.	Irrradiación.....	31
3.2.3.	Hora solar pico.....	32
3.3.	Energía fotovoltaica.....	33
3.3.1.	Ventajas de la energía fotovoltaica.....	34
3.4.	Efecto fotoeléctrico.....	35
3.4.1.	Proceso del efecto fotoeléctrico.....	35
3.4.2.	Aplicaciones del efecto fotoeléctrico.....	36
3.5.	Efecto fotovoltaico.....	36
3.6.	Semiconductores en celdas fotovoltaicas	37
3.7.	Celdas fotovoltaicas	38
3.7.1.	Principio de funcionamiento de las celdas solares.	39
3.7.2.	Tipo de celdas fotovoltaicas	40
3.8.	Sistemas fotovoltaicos.....	42
3.8.1.	Controlador.....	42
3.8.2.	Batería.....	43
3.8.3.	Inversor.....	46
3.8.4.	Estructura del sistema fotovoltaico	46
3.9.	Conexiones fotovoltaicas	46
3.9.1.	Conexión de módulos fotovoltaicas en serie	47
3.9.2.	Conexión de módulos fotovoltaicas en paralelo	47
3.9.3.	Conexión de módulos fotovoltaicas mixto.....	48
3.10.	Normatividad.....	48

CAPITULO 4 METODOLOGIA.....	50
4. Introducción.....	50
4.1. Sección de la comunidad	50
4.2. Visita a la comunidad	51
4.3. Aplicación de encuestas para datos preliminares	51
4.4. Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos centralizados.	52
4.5. Demanda energética de cada una de las viviendas.....	53
4.6. Determinación del consumo total comunitario para la central fotovoltaica	54
4.7. Selección de los componentes del sistema solar fotovoltaico autónomo centralizado	54
4.8. Selección de paneles fotovoltaicos (sistema de generación)	54
4.9. Selección de baterías (sistema de acumulación)	55
4.10. selección de Inversor (Regulación y conversión).....	56
4.11. Selección del cableado	57
4.12. Implementación del sistema fotovoltaico.....	57
4.12.1. Planificación del transporte	57
4.12.2. Selección del lugar de instalación de las centrales fotovoltaicas. ..	59
4.12.3. Construcción de cimientos para la estructura del sistema.....	60
4.12.4. Instalación de la estructura.....	60
4.12.5. Montaje de paneles fotovoltaicos	60
4.12.6. Instalación de sistema de regulación, conversión y almacenamiento de energía eléctrica	61
4.13. Instalación eléctrica de los hogares	61
4.14. Redes de distribución de energía	61
4.15. Recomendaciones para el mantenimiento	62
4.16. Monitoreo de la producción de energía.....	62
CAPITULO 5 RESULTADOS	63
5. Introducción.....	63
5.1. Selección de la comunidad	63
5.2. Área de estudio	64
5.3. Visita a la comunidad	64

5.4. Aplicación de Encuestas Para Datos Preliminares	65
5.5. Dimensionado del sistema fotovoltaico	67
5.5.1. Demanda energética de cada una de las viviendas.	68
5.5.2. Determinación del consumo total de la central fotovoltaica.	70
5.6. Selección de los componentes del sistema solar fotovoltaico autónomo centralizado	70
5.6.1. Paneles fotovoltaicos (sistema de generación).....	70
5.6.2. selección de Baterías (sistema de acumulación).....	71
5.6.3. Selección del inversor (Regulación y conversión)	73
5.6.4. Selección del cableado.....	75
5.7. Implementación del sistema fotovoltaico.....	76
5.7.1. Planificación del transporte.....	76
5.7.2. Selección del lugar donde se instalaron las centrales fotovoltaicas ..	78
5.7.3. Construcción de cimientos para la estructura del sistema.....	79
5.8. Instalación de la estructura	80
5.9. Montaje de paneles fotovoltaicos	80
5.10. Instalación de sistema de regulación, conversión y almacenamiento de energía eléctrica	84
5.11. Instalación eléctrica de los hogares	86
5.12. Redes de distribución de energía	87
5.13. Recomendaciones para uso y mantenimiento	88
5.14. Monitoreo de la producción de energía.....	90
5.15. Discusión de resultados	92
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES	95
TRABAJOS A FUTURO	95
BIBLIOGRAFÍA	96
Anexos	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación del espectro electromagnético que muestra las diferentes longitudes de onda de la radiación.....	31
figura 2 mapa de radiación solar media diaria en México, en kwh/m ²	33
Figura 3 horas solar pico promedio por mes en diversas localidades de México..	33
figura 5 sistema fotovoltaico autónomo instalado en una comunidad rural de Chiapas.	33
figura 6 esquema que ilustra el principio del efecto fotoeléctrico.	35
figura 7 esquema básico de una celda solar de silicio.	40
figura 8 "diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo.	42
figura 9 esquema de conexión de módulos fotovoltaicos (paralelo y serie).	47
Figura 10 coordenadas exactas de Tierra colorada Chipas.	64
Figura 11 primera reunión con los integrantes de la comunidad de Tierra Colorada; Chiapas. (Autor: M. Benítez)	65
Figura 12. ubicación de las centrales fotovoltaicas	68
Figura 13. batería Growatt AXE 5.0L-C1	71
Figura 14 Hoja de datos de la batería.	72
Figura 15 Inversor Growatt SPF6000ESPlus	74
Figura 16 Sistema fotovoltaico centralizado autónomo de 1x10	78
Figura 17 Colado de cimientos.....	79
Figura 18. instalación de las estructuras y rieles.....	80
Figura 19 Inspección de módulos fotovoltaicos.....	81
Figura 20 Traslado.	82
Figura 21 Montaje.	82
Figura 22 Fijación de los paneles solares	83

Figura 23 conexión mixta de los módulos fotovoltaicos	83
Figura 24 Instalación del sistema de regulación y conversión	85
Figura 25 Banco de baterías	
Figura 26 Diagrama del diseño del sistema eléctrico interno de las viviendas y su cocina.....	86
Figura 27 Proceso de instalación eléctrica de cada una de las viviendas con las centrales fotovoltaicas autónomas.	87
Figura 28 Distribución que trasporta la energía.....	87
Figura 29 red de distribución en la comunidad.....	88
Figura 30 Comunidad de tierra colorada de noche con iluminación.....	89
Figura 31 consumo de la energía almacenada.	90
Figura 32 medición de la radiación solar.....	91
Figura 33 medición de voltaje en banco de baterías.	91
Figura 34 medición de la temperatura del panel solar.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de la batería LiFePO4.....	44
Tabla 2. Datos demográficos de la comunidad	52
Tabla 3. Levantamiento estimado por vivienda	53
Tabla 4. Componentes del sistema fotovoltaico	58
Tabla 5. Componentes de instalación eléctrica	59
Tabla 6. Herramientas para la instalación	59
Tabla 7. Municipios con mayor número de personas en situación de pobreza, Chiapas 2020. (CONEVAL).....	63
Tabla 8. Datos demográficos en tierra colorada.....	66
Tabla 9. Datos de cultura indígena.....	66
Tabla 10. Desempleo, economía y vivienda.....	67
Tabla 11. Levantamiento estimado por vivienda.	69
Tabla 12. Componentes del sistema fotovoltaico	77
Tabla 13. Componentes de instalación eléctrica	77
Tabla 14. Herramientas para la instalación	78

ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

Términos Eléctricos

- **PV (Paneles Fotovoltaicos):** Convierte la radiación solar en energía eléctrica.
- **kWh (kilowat-hora):** unidad de energía equivalente a 1000 vatios-hora (Wh).
- **Inversor:** Convierte CC en CA para uso doméstico o industrial.
- **W/m²:** vatios por metro cuadrado.
- **LiFePO₄ (Baterías de Litio-Fosfato de Hierro):** Almacenan energía con mayor vida útil.
- **Controlador de Carga:** Previene sobrecargas y descargas profundas en baterías.
- **Cableado:** Conductores eléctricos según la NOM-001-SEDE-2012.
- **Conexiones en Serie/Paralelo:** Ajustan voltaje y corriente de módulos solares.
- **P (Potencia):** Energía producida o consumida, medida en watts (W).
- **I (Corriente):** Flujo eléctrico medido en amperios (A).
- **V (Voltaje):** Fuerza que impulsa la corriente, medida en voltios (V).
- **MJ/m² (Megajulios por metro cuadrado):** unidad de densidad de energía superficial.
- **Gw (Gigavatios):** unidad de energía utilizadas en centrales eléctricas.
- **Ciclo de Vida de Baterías:** Duración de carga/descarga de las baterías.
- **Sistema Autónomo:** Sistema que produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red.
- **HSP (Horas Solares Pico):** Medición de radiación solar utilizable.
- **Sobredimensionamiento:** Capacidad extra en sistemas fotovoltaicos (1.2 1.3).
- **HSP:** Hora solar pico.
- **PWM (pulse-width modulation):** modulación por ancho de pulso.

- **MPPT (Maximum Power Point Tracking):** seguimiento del punto de máxima potencia
- **Términos Químicos**
 - **Si (Silicio):** Material semiconductor en celdas solares.
 - **GaAs (Arseniuro de Galio):** Semiconductor en celdas solares de alta eficiencia.
 - **ZnSe (Seleniuro de Zinc):** Compuesto usado en dispositivos optoelectrónicos.
 - **CdS (Sulfuro de Cadmio):** Utilizado en celdas fotovoltaicas de capa delgada.
 - **CdTe (Telurio de Cadmio):** Material semiconductor en celdas de capa delgada.
 - **CuInSe/CuInGaSe:** Semiconductores en celdas solares de alto rendimiento.
 - **LiFePO4 (Litio-Fosfato de Hierro):** Material en baterías por su estabilidad.
 - **Dopaje:** Proceso de añadir impurezas a semiconductores.
 - **Efecto Fotoeléctrico:** Liberación de electrones al incidir luz en un material.
 - **Efecto Fotovoltaico:** Conversión de luz solar en electricidad.
 - **EV (Banda de Valencia):** Nivel más bajo de energía en semiconductores.
 - **EC (Banda de conducción):** nivel en que un electrón se considera libre.
 - **CZTS (sulfuro de cobre zinc y estaño):** semiconductor tipo p utilizado como capa absorbadora de la radiación solar.
- **Otros Términos Relacionados**
 - **Energía Total Requerida:** Cálculo para determinar el número de baterías.
 - **Celda Monocristalina:** Celda solar de silicio de alta eficiencia.
 - **Celda Policristalina:** Celda solar de menor costo y eficiencia.
 - **EG (Banda Prohibida):** Energía mínima para que un electrón conduzca en un semiconductor.

RESUMEN

La carencia de suministro eléctrico en comunidades rurales aisladas constituye una situación crítica, ya que frecuentemente está asociada con la falta de servicios básicos como telecomunicaciones, educación, atención médica, acceso a energía eléctrica y agua potable.

Se han instalado sistemas fotovoltaicos autónomos para combatir las problemáticas antes mencionadas, sin embargo, la falta de seguimiento, tecnología adecuada y capacitación para el mantenimiento de éstos, ha provocado fallas en su correcto funcionamiento, esto genera que los proyectos de implementación de SF fracasen. En tal sentido una alternativa para dar solución a lo antes mencionado es el presente trabajo de investigación, el cual forma parte del proyecto de “Diseño, desarrollo e implementación de sistemas energéticos renovables en comunidades pobres y marginadas del Estado de Chiapas” donde se exponen los resultados obtenidos del diseño e implementación de centrales fotovoltaicas autónomas equipadas con baterías de litio-fosfato de hierro. Estas baterías fueron seleccionadas por su alta eficiencia, larga vida útil y mayor seguridad comparadas con otras tecnologías, además su capacidad garantiza la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Se hicieron visitas a la comunidad seleccionada para determinar sus necesidades energéticas, una vez conociendo esos datos se procedió a realizar el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Como resultado de los cálculos, se determinó que se requieren 22 kW, debido a la cercanía de las viviendas en la comunidad, fue necesario instalar cuatro centrales fotovoltaicas, tres de ellas para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas y una para el suministro de energía de los espacios públicos como son: la cancha de basquetbol, las escuelas, centros religiosos, alumbrado público y el centro comunitario. Cada una de las centrales está equipada con diez paneles de 550 W, un controlador con capacidad de 6 KW y os baterías de LiFePO₄ de 5 kWh cada una.

ABSTRAC

The lack of electricity supply in isolated rural communities constitutes a critical situation, since it is frequently associated with the lack of basic services such as telecommunications, education, medical care, access to electricity and drinking water.

Autonomous photovoltaic systems have been installed to combat the aforementioned problems, however, the lack of monitoring, adequate technology and training for their maintenance has caused failures in their correct operation, which causes SF implementation projects to fail.

In this sense, an alternative to solve the aforementioned is the present research work, which is part of the project "Design, development and implementation of renewable energy systems in poor and marginalized communities of the State of Chiapas" where the results obtained from the design and implementation of autonomous photovoltaic plants equipped with lithium-iron phosphate batteries are presented. These batteries were selected for their high efficiency, long lifespan and greater safety compared to other technologies, and their capacity guarantees the long-term sustainability of the system.

Visits were made to the selected community to determine its energy needs. Once this data was known, the sizing of the photovoltaic systems was carried out. As a result of the calculations, it was determined that 22 kW were required. Due to the proximity of the homes in the community, it was necessary to install four photovoltaic plants, three of them to meet the energy needs of the homes and one to supply energy to public spaces such as: the basketball court, schools, religious centers, public lighting and the community center. Each of the plants is equipped with ten 550 W panels, a 6 KW capacity controller and LiFePO₄ batteries of 5 kWh each.

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1. Introducción

El acceso a la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo social y económico de cualquier comunidad. Sin embargo, en el estado de Chiapas, muchas comunidades rurales marginadas aún enfrentan serias limitaciones en su acceso a este recurso esencial, lo que impacta negativamente su calidad de vida y desarrollo integral.

La dispersión geográfica, combinada con la complejidad del terreno, hace que la extensión de la red eléctrica convencional sea técnicamente inviable y económicamente costosa. Ante esta realidad, los sistemas fotovoltaicos autónomos se presentan como una solución viable, ofreciendo la posibilidad de proporcionar electricidad limpia y sostenible a estas comunidades aisladas. La presente investigación se centra en el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos centralizados equipados con baterías de litio-fosfato de hierro (LiFePO₄) en comunidades marginadas de Chiapas. Esta tecnología ha sido seleccionada debido a sus múltiples ventajas, tales como su alta eficiencia, mayor vida útil y menor necesidad de mantenimiento en comparación con las baterías de plomo-ácido tradicionales. La implementación de estos sistemas no solo busca satisfacer las necesidades energéticas básicas de las comunidades, sino también promover su autosuficiencia energética y mejorar su calidad de vida.

Para lograr el objetivo se evaluaron las necesidades energéticas específicas de las comunidades, y se realizaron cálculos detallados para dimensionar adecuadamente los sistemas, posteriormente se implementaron. Este trabajo busca ofrecer una solución técnica a la problemática del acceso a la energía en zonas rurales marginadas, también contribuir al desarrollo sostenible de estas comunidades.

1.2. Planteamiento del problema

En el estado de Chiapas, varias de las comunidades rurales carecen de acceso a servicios básicos como por ejemplo la electricidad, esta situación muchas veces limita significativamente el desarrollo social y económico, dando como resultado que varias áreas fundamentales como la educación, la salud y la productividad sean afectadas. La falta de acceso a la energía eléctrica en comunidades rurales marginadas de Chiapas constituye un problema crítico que perpetúa la desigualdad y limita el desarrollo integral de estas zonas.

La geografía y la dispersión de estas comunidades hacen que la extensión de la red eléctrica convencional sea inviable tanto técnica como económicamente. Para abordar esta problemática, se han implementado sistemas fotovoltaicos autónomos, no obstante, es importante destacar que componentes críticos como las baterías de plomo-ácido requieren mantenimiento periódico y presentan una vida útil limitada, que oscila entre los 3 y 5 años, lo que trae como consecuencia el fracaso de proyectos que utilizan este tipo de tecnología.

1.3. Justificación

La implementación de sistemas fotovoltaicos centralizados con baterías de litio-fosfato de hierro (LiFePO_4) se propone como una solución efectiva para la electrificación de comunidades marginadas como Tierra Colorada Chiapas. Estos sistemas permiten una distribución eficiente de la energía generada, además de ofrecer una alternativa más duradera y segura en comparación con los sistemas que utilizan tecnologías de almacenamiento de energía tradicionales como las de plomo ácido.

Con la Implementación centrales fotovoltaicas que incluyen baterías de litio-fosfato de hierro (LiFePO_4) como sistema de almacenamiento es particularmente relevantedebido a su mayor vida útil, seguridad y eficiencia, puesto que al utilizar

estas tecnologías innovadora se asegura la sostenibilidad del sistema en un periodo largo.

Con este proyecto se busca contribuir a la reducción de la pobreza energética y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo que respecta a garantizar el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, además de contribuir a la mejora en la calidad de la salud, la educación y el medio ambiente.

1.4. Hipótesis

Con el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos centralizados con baterías de litio-fosfato de hierro, dimensionados específicamente para las necesidades energéticas de la comunidad Tierra Colorada Chiapas, la cual se encuentra totalmente aislada de la red eléctrica de CFE, se proporcionara un suministro eléctrico estable, eficiente y sostenible, que satisfaga las demandas energéticas de ésta, mejorando la calidad de vida de los habitantes y promoviendo su desarrollo socioeconómico.

1.5. Objetivo general

Diseñar e implementar centrales fotovoltaicas basadas con almacenamiento en baterías de litio-fosfato de hierro para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad Tierra Colorada, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.6. Objetivos particulares

1.6.1. Diseñar sistemas fotovoltaicos autónomos.

- Revisión bibliográfica.
- Evaluación de las necesidades energéticas.

- Cálculo de la demanda energética.
- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

1.6.2. Implementar los sistemas fotovoltaicos centralizados autónomos.

- Análisis del lugar de implementación.
- Elaboración del esquema de distribución de energía eléctrica.
- Instalación del sistema fotovoltaico para viviendas y objetivos sociales.
- Instalación eléctrica de los hogares.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

2. Introducción

En este capítulo describe como fue el desarrollo de la energía solar fotovoltaica a través del paso de los años y la importancia de las energías renovables en la transición a un futuro más sostenible, el impacto en el sector energético, así como también ha influido en el desarrollo social y económico en especial en regiones donde la electricidad es escasa o inexistente.

2.1. Orígenes de la energía solar y fotovoltaica

El interés por la energía solar se remonta al siglo XIX, cuando el físico francés Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en 1839 [1]. Este fenómeno, en el que ciertos materiales generan una corriente eléctrica cuando son expuestos a la luz, sentó las bases para el desarrollo de la tecnología solar moderna. Sin embargo, fue necesario esperar más de un siglo para que esta tecnología comenzara a ser aplicada de manera práctica.

En 1954, los científicos de Bell Labs en Estados Unidos presentaron la primera célula solar eficiente, basada en silicio cristalino, con una eficiencia del 6%. Este dispositivo representó un avance significativo, ya que permitió convertir la energía del sol en electricidad de manera más efectiva. Aunque la eficiencia inicial era modesta, este desarrollo fue un paso crucial hacia la utilización práctica de la energía solar [2].

2.2. Desarrollo y aplicaciones iniciales de la energía solar

La energía solar no solo se limitó a aplicaciones terrestres. A partir de la segunda mitad del siglo XX, la tecnología fotovoltaica comenzó a desempeñar un papel

crucial en la exploración espacial. Los satélites lanzados al espacio utilizaron paneles solares como su principal fuente de energía, lo que permitió que las misiones espaciales fueran más largas y eficientes. Este fue un periodo de consolidación para la energía solar, que comenzó a ser vista como una fuente de energía viable no solo en el espacio, sino también en la Tierra [3].

En paralelo, Thomas Edison, conocido principalmente por su trabajo en el desarrollo de la bombilla eléctrica, también realizó contribuciones a la energía solar. Aunque no fue el inventor de la célula solar, Edison promovió el uso de energías renovables y estaba interesado en las posibilidades que la energía solar podía ofrecer para aplicaciones prácticas como la desalinización del agua. Su visión anticipó muchos de los usos modernos de la energía solar en sectores críticos como la producción de agua potable y la electrificación de áreas remotas [4].

2.3. La era de la información y la dependencia de la energía

Con el advenimiento de la era de la información a finales del siglo XX, la sociedad se volvió cada vez más dependiente de la energía eléctrica. La expansión de la tecnología informática, las telecomunicaciones, y más recientemente, la conectividad global a través de internet, ha hecho que la energía eléctrica sea indispensable para el funcionamiento de la vida moderna.

Es difícil imaginar un mundo sin acceso a la electricidad, ya que prácticamente todos los aspectos de la vida cotidiana y la economía global dependen de un suministro de energía confiable [5].

2.4. El costo de la energía solar y su evolución

Uno de los hitos importantes en la historia de la energía solar fue el anuncio de H.C. Welker en 1954, quien predijo que la electricidad generada por energía solar podría llegar a costar \$1 por kilovatio-hora (kWh). Este costo era comparable al de otras

fuentes convencionales de energía en ese momento, lo que indicaba el potencial competitivo de la energía solar en el mercado energético.

Sin embargo, en la década de 1950, el costo de producción de energía mediante tecnologías solares seguía siendo elevado en comparación con otras fuentes. Por ejemplo, el proceso de electrólisis del agua requería \$1.472 por megavatio-hora (MWh), mientras que una turbina alimentada por energía solar podría generar electricidad a un costo de \$4 por MWh. Estos costos reflejaban tanto los desafíos tecnológicos de la época como la falta de infraestructura para la producción masiva de componentes fotovoltaicos.

Con el tiempo, los avances en la tecnología de fabricación, la economía de escala, y el aumento en la eficiencia de las celdas solares han reducido significativamente el costo de la energía solar, haciendo que sea una opción viable para una amplia gama de aplicaciones, desde pequeñas instalaciones domésticas hasta grandes plantas solares [6].

2.5. Impacto social y económico de la energía solar

El desarrollo de la energía solar no solo ha tenido un impacto en el sector energético, sino que también ha influido en el desarrollo social y económico. En regiones donde la electricidad es escasa o inexistente, la energía solar ha proporcionado una solución que permite mejorar la calidad de vida, facilitar la educación, y apoyar la economía local. Por ejemplo, la electrificación de áreas rurales utilizando sistemas solares ha permitido la refrigeración de medicamentos, el bombeo de agua para la agricultura, y la iluminación de escuelas y hogares [6].

Además, el desarrollo de la energía solar ha abierto nuevos mercados y ha creado empleos en sectores como la instalación y mantenimiento de paneles solares, la fabricación de componentes, y la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías [7].

2.6. Desafíos y futuro de la energía solar

A pesar de los avances en la energía solar todavía enfrenta desafíos. La disponibilidad de materiales para la fabricación de celdas solares, la eficiencia en condiciones climáticas variables y la gestión de residuos al final de la vida útil de los paneles son algunas de las cuestiones que requieren soluciones innovadoras [8].

La investigación en nuevas tecnologías, como las celdas solares de perovskita, promete mejorar la eficiencia y reducir los costos de producción, aunque estos avances aún deben superar barreras relacionadas con la durabilidad y estabilidad de los materiales.

En el futuro, la energía solar tiene el potencial de desempeñar un papel aún más importante en la transición hacia un sistema energético global más sostenible, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y mitigando los efectos del cambio climático.

La energía fotovoltaica ha sido particularmente útil en comunidades donde la conexión a la red eléctrica resulta impracticable debido a factores geográficos o a la baja densidad de población. En estas áreas, los sistemas fotovoltaicos no solo han proporcionado energía limpia, sino que también han contribuido al desarrollo económico y social, permitiendo aplicaciones como el bombeo de agua, la electrificación doméstica y la provisión de servicios esenciales como la refrigeración de medicamentos [9].

El diseño, implementación y evaluación de sistemas fotovoltaicos autónomos se ha convertido en un área de gran interés en la ingeniería energética, especialmente en el contexto de electrificación rural y comunidades marginadas. Diferentes estudios han abordado la viabilidad, eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas, explorando tanto sus retos como las oportunidades que presentan en diferentes regiones del mundo.

2.7. Implementación de sistemas fotovoltaicos en México

En la tesis de Jesús Jiménez (2022), se realiza un análisis detallado de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en comunidades rurales de México. Jiménez identifica las principales barreras para la adopción masiva de esta tecnología, destacando la falta de infraestructura y la necesidad de capacitaciones locales para asegurar el mantenimiento a largo plazo. Este estudio subraya la importancia de los programas de educación y la involucración de las comunidades en el proceso de implementación como claves para el éxito de los proyectos energéticos sostenibles en áreas rurales [10].

Aunque este estudio se enfoca más en la política tarifaria que en la tecnología de sistemas fotovoltaicos, sus conclusiones son relevantes para cualquier proyecto de electrificación rural, sugiriendo que la implementación de sistemas energéticos debe ir acompañada de un marco normativo que garantice el acceso equitativo y la sostenibilidad financiera para las comunidades más vulnerables [10].

Estos estudios proporcionan un panorama integral sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos en diferentes contextos, subrayando la importancia de un enfoque holístico que incluya aspectos técnicos, educativos, sociales y políticos para asegurar el éxito a largo plazo de estos proyectos en comunidades marginadas [11].

A lo largo del tiempo han sido diversos los proyectos que se han llevado a cabo para resolver el acceso a energía en las comunidades más apartadas del país, entre los que se destaca la electrificación rural. Éste, es uno de los temas más importantes en el contexto de las políticas públicas de los países de América Latina y El Caribe [12]. En este sentido, se han establecido compromisos para llevar a cabo acciones que atiendan el acceso a la electricidad para las poblaciones que viven en condiciones de marginación [13]. Esto se ha dado en mayor medida mediante la integración de proyectos de electrificación rural a las políticas energéticas.

En México, la cobertura de electrificación en las zonas rurales ha sido posible gracias a la consolidación de políticas públicas integrales que se han ido fortaleciendo a través de la implementación de tecnologías limpias que coadyuvan a proporcionar un servicio de electricidad confiable y accesible, destacando en el ámbito de las energías renovables, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos [14].

Las características específicas de las zonas rurales del país, representaron un reto para el desarrollo de soluciones que permitieran llevar energía eléctrica a las comunidades apartadas, y en este sentido, la geografía del país y la dispersión de las comunidades en las diferentes regiones se convirtieron en los factores decisivos para la implementación de soluciones viables [15]. Además, de los factores geográficos y climáticos, la falta de infraestructura y las condiciones socioeconómicas en que viven las personas que habitan las comunidades, limitaron la posibilidad de que accedieran a este servicio, lo cual fue una de las razones que motivó al gobierno a establecer la necesidad de implementar una política de acceso a la energía eléctrica que fuera incluyente, integral y sustentable.

Dentro de los proyectos de electrificación rural en México se destaca la participación del programa “Autonomía Energética para el Desarrollo Sostenible”, el cual nació con el propósito de promover la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, principalmente sistemas solares fotovoltaicos para brindar acceso a este servicio en comunidades que se encuentran fuera de la red nacional de electricidad.

2.8. Implementación de sistemas fotovoltaicos en Chiapas

Chiapas es uno de los estados de México que más ha impulsado el uso de sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales, con el fin de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y mejorar la calidad de vida de sus habitantes [16]. El gobierno federal y estatal ha promovido la instalación de paneles solares en

municipios rurales como parte de un esfuerzo por llevar energía eléctrica a zonas que carecen de infraestructura adecuada.

En estos municipios, los sistemas fotovoltaicos fueron implementados para suplir las necesidades energéticas de las viviendas, y en algunos casos, los sistemas también fueron utilizados para operar pequeños negocios o instituciones. La Propuesta de mejoramiento en el aprovechamiento de energía solar mediante paneles fotovoltaicos destaca cómo la instalación de estos sistemas busca no solo reducir el consumo de electricidad tradicional, sino también fomentar una cultura de respeto al medio ambiente entre los usuarios.

Entre los proyectos de electrificación rural en Chiapas, México, que llevan por nombre “Estación de Pruebas de Sistemas Energéticos Renovables e Implementación en Comunidades de Alta Marginación en Chiapas” se implementaron tres estrategias principales en diferentes comunidades marginadas como lo son: Nuevo Belén y las comunidades de El Tuzal y Villa del Río, los cuales fueron financiados por el CONAHCYT y puestos en marcha por el IIIER [17].

2.8.1. Sistemas Fotovoltaicos Individuales en Nuevo Belén

En la comunidad de Nuevo Belén, se optó por una solución basada en sistemas fotovoltaicos individuales debido a la dispersión de las viviendas y la lejanía de la red eléctrica. Cada una de las 11 casas habitadas recibió un sistema fotovoltaico autónomo compuesto por un panel solar de 250 W, dos baterías de 115 Ah, y un inversor de 450 W para convertir la energía solar en electricidad utilizable.

Este plan fue parte del programa de electrificación fotovoltaica rural impulsado por el Instituto de Energías Renovables de Chiapas (INER), el cual también se encargó del mantenimiento técnico. Los usuarios no tuvieron que pagar por la instalación ni por el servicio de electricidad, lo que resultó en un alto nivel de satisfacción. Sin embargo, al depender de sistemas individuales, la comunidad enfrenta desafíos

como la limitada capacidad de los sistemas y el riesgo de falta de recursos solares en días nublados [17].

2.8.2. Microrredes Fotovoltaicas en El Tuzal y Villa del Río

En El Tuzal y Villa del Río, se implementó una estrategia más avanzada utilizando microrredes fotovoltaicas autónomas. En El Tuzal, se construyeron tres microrredes financiadas por CONAHCYT a través del proyecto de “Estación de Pruebas de Sistemas Energéticos Renovables e Implementación en Comunidades de Alta Marginación en Chiapas”, cada una alimentada por centrales de 2.5 kW. Estas microrredes suministraban electricidad a las casas, la escuela, el centro comunitario, la iglesia y el alumbrado público, de estas se beneficiaron 30 viviendas, es decir 30 familia, también se instaló un sistema de bombeo para el suministro de agua de los hogares. La comunidad participó activamente en la instalación y mantenimiento del sistema, y cada familia paga una tarifa mensual de \$20 para cubrir los costos de operación y mantenimiento, lo que fomenta la sostenibilidad a largo plazo.

Por su parte, en Villa del Río, se instaló una central fotovoltaica y un aerogenerador que en conjunto generan 15.5 kW, con cableado subterráneo y tecnología led para la iluminación, la cual beneficia a más de 55 familias, alimentando también espacios comunitarios. Este proyecto fue financiado por la Agencia Española de colaboración Internacional para el Desarrollo y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONAHCYT [17].

2.8.3. Evaluación de otros proyectos en Chiapas

Se llevaron a cabo otros proyectos en Chiapas. Los resultados de estos proyectos han sido variados. En el caso de los municipios de **Yajalón y Soyaló**, la evaluación mostró diferencias significativas entre las comunidades en cuanto a la operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. En **Yajalón**, la electrificación por red

convencional redujo la necesidad de los paneles solares, lo que llevó al abandono de muchos de estos sistemas debido a los altos costos de operación y mantenimiento. Por otro lado, en **Soyaló**, a pesar de que la mayoría de los paneles seguían en funcionamiento, se detectaron problemas de mantenimiento y falta de capacitación para el uso adecuado de la tecnología [18].

A nivel general, se ha observado que la falta de capacitación sobre el mantenimiento y el correcto uso de los sistemas fotovoltaicos ha sido uno de los principales desafíos para asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Muchos usuarios, al no comprender el valor de la tecnología, abandonaron o mal utilizaron los sistemas instalados.

2.8.4. Propuesta de Mejoramiento

En la Propuesta de mejoramiento en el aprovechamiento de energía solar mediante paneles fotovoltaicos, se destaca la importancia de una evaluación constante de las ecotecnologías, como los paneles solares, para optimizar su uso y adaptarlas a las necesidades específicas de cada comunidad. Entre las recomendaciones planteadas en el estudio, se enfatiza la necesidad de involucrar a los usuarios en la instalación, uso y mantenimiento de los sistemas para garantizar su correcta operación a largo plazo. El proyecto también propone soluciones que complementen las tecnologías existentes, como la implementación de sistemas de almacenamiento de energía (baterías) para suplir la demanda en horas nocturnas o en días nublados.

Además, el proyecto señala los beneficios de los sistemas fotovoltaicos, como la reducción de contaminantes, el ahorro de energía y la generación de conciencia ambiental entre los habitantes de las zonas rurales. El involucramiento de las comunidades es fundamental para asegurar el éxito de estas tecnologías, ya que son ellos quienes, con un adecuado acompañamiento, pueden encargarse del mantenimiento y operación de los sistemas.

CAPITULO 3 MARCO TEORICO

3. Introducción

A lo largo de este capítulo se expondrá un conjunto de información para comprender los sistemas fotovoltaicos autónomos, a través de conceptos y definiciones fundamentales se facilitará el entendimiento de los procesos involucrados y los componentes esenciales que los conforman. Esta base teórica resulta indispensable para el correcto diseño y funcionamiento de estos sistemas.

3.1. Energías renovables

Cuando hablamos de energía renovable, nos referimos a las diversas fuentes de energía que provienen de recursos naturales como el sol, el agua y el viento. Estas fuentes son inagotables a escala humana y, al aprovecharlas, podemos generar electricidad sin recurrir a combustibles fósiles que impactan negativamente al medio ambiente.

Las energías renovables, también conocidas como energías alternativas o verdes, se caracterizan por su capacidad de minimizar la emisión de gases de efecto invernadero y reducir nuestra dependencia de recursos finitos. Además, su implementación contribuye a la sostenibilidad a largo plazo, al tiempo que impulsa el desarrollo de tecnologías limpias y fomenta la creación de empleos en el sector energético.

Es fundamental reconocer la importancia de seguir desarrollando y adoptando estas energías, ya que representan una solución clave para mitigar el cambio climático y promover un futuro más limpio y equitativo [19].

3.2. Energía solar

El sol es la fuente de energía más abundante en la Tierra, esencial para los ciclos biofísicos que mantienen la vida, como los ciclos del oxígeno, agua, carbono y clima. Además de proporcionar energía para la fotosíntesis, es el origen de la mayoría de las energías renovables, como la eólica, hidroeléctrica, biomasa y la energía oceánica. La energía solar puede aprovecharse pasivamente mediante el diseño y orientación de edificios, y activamente mediante sistemas como colectores solares térmicos y paneles fotovoltaicos, que permiten captar energía térmica o generar electricidad [20].

Para ampliar un poco más, es importante destacar que el aprovechamiento pasivo de la energía solar se basa en el uso estratégico de materiales y estructuras que optimicen la captación de calor y luz natural, lo que reduce la necesidad de fuentes externas de energía para calefacción o iluminación. Por otro lado, el aprovechamiento activo a través de paneles fotovoltaicos convierte la radiación solar directamente en electricidad mediante celdas solares, mientras que los colectores solares térmicos se encargan de concentrar el calor solar para aplicaciones como calefacción de agua o espacios [21].

3.2.1. Radiación solar

La energía solar proviene del proceso de fusión nuclear que ocurre en el sol. Esta energía impulsa nuestro entorno y la cantidad de energía solar que llega a la Tierra es aproximadamente 10,000 veces superior a la que actualmente consume toda la humanidad. La radiación solar se transmite a través de ondas electromagnéticas que se propagan desde la fuente en todas direcciones. Estas ondas no requieren un medio material para su transmisión, lo que les permite atravesar el espacio interplanetario y alcanzar la Tierra desde el Sol [22].

La energía, visibilidad y capacidad de penetración de estas ondas dependen de su longitud de onda y frecuencia. Todas las ondas electromagnéticas viajan en el vacío

a una velocidad de 299,792 km/s y pueden presentar diversas longitudes de onda. El conjunto de todas estas longitudes se conoce como espectro electromagnético, mientras que las longitudes de onda emitidas por el Sol forman el espectro solar. La distribución de la radiación solar en el espectro es aproximadamente: 7% en ultravioleta, 43% en luz visible y 49% en infrarrojo [22].

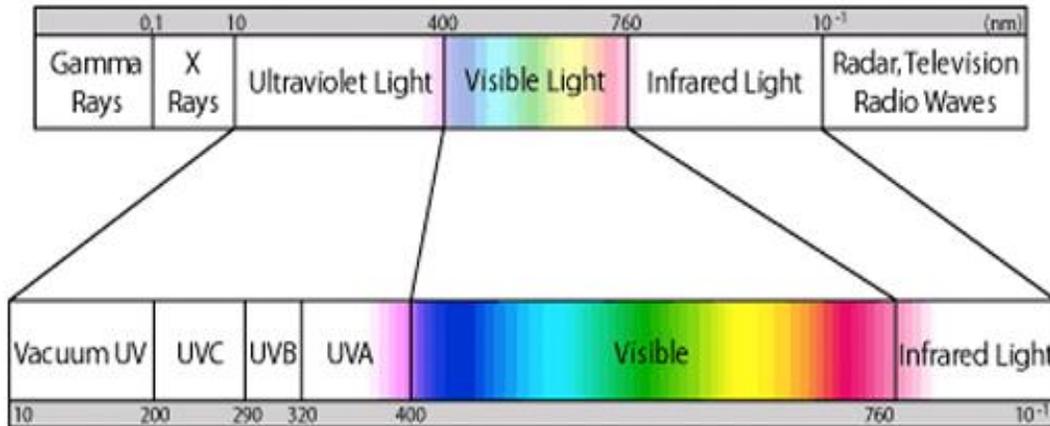


Figura 1 Representación del espectro electromagnético que muestra las diferentes longitudes de onda de la radiación.

3.2.1.1. Radiación directa e indirecta.

La radiación solar se clasifica en dos tipos principales: directa y difusa. La radiación directa llega a la superficie terrestre sin alteraciones significativas, con una intensidad de aproximadamente 1353 W/m², lo que corresponde a la constante solar. Esta radiación se mide utilizando un pirheliómetro. En contraste, la radiación difusa es aquella que ha sido dispersada por fenómenos de reflexión, refracción, nubes y otros factores atmosféricos y terrestres. La radiación difusa se mide con instrumentos como pirómetros o albedómetros. La combinación de la radiación directa y la difusa se conoce como radiación global.

3.2.2. Irradiación

La irradiación solar se define como la cantidad total de energía del sol que incide sobre una unidad de superficie en un intervalo de tiempo determinado, medida en

vatio por metro cuadrado (W/m^2). En otras palabras, mide la potencia de la radiación solar por unidad de área. La irradiación solar se refiere a la energía que llega a una superficie durante un periodo específico, como una hora, y es fundamental para calcular el tamaño adecuado de sistemas de paneles solares [23].

La medición de la irradiación solar se realiza utilizando sensores denominados piranómetros. Estos dispositivos cuentan con sensores térmicos y una cúpula de vidrio que filtra el rango de longitud de onda, permitiendo medir tanto la radiación directa como la difusa. Para convertir los datos de radiación solar en unidades de energía, los valores en W/m^2 se multiplican por el número de segundos en el periodo de tiempo de interés, como 3.600 segundos en una hora, resultando en julios por metro cuadrado (J/m^2) [23].

Existen varios tipos de radiación solar que se pueden clasificar según cómo llegan los rayos del Sol a la Tierra: la radiación directa, que llega a la superficie terrestre sin alteraciones; la radiación difusa, que es desviada por factores como las nubes; y la radiación reflejada, que es la que se refleja en la superficie terrestre y puede ser aprovechada, por ejemplo, en las caras posteriores de paneles solares bifaciales [24].

3.2.3. Hora solar pico

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de $1000 W/m^2$. Una hora solar pico equivale a $3.6 MJ/m^2$, o $1 kWh/m^2$. Esta es frecuentemente utilizada para realizar cálculos fotovoltaicos [25]. En la figura 2 se aprecia un mapa de los 32 estados de México, comparando las zonas de mayor y menor producción anual de radiación solar global diaria en kWh/m^2 , en la figura 3 podemos ver la irradiación solar en $kWh/día$ en cada uno de los meses en la República Mexicana, para el caso específico de Chiapas tenemos una irradiación media de $4.7 kWh/m^2$ al día.

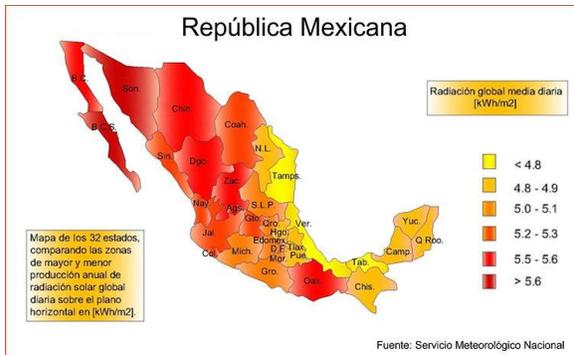


figura 2 y 3 Mapa de radiación solar media diaria en México, en kwh/m².

Horas Solar Pico
Irradiación solar en kWh/m² - Día en cada uno de los meses en la República Mexicana.

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Ags	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4	4	7.2	5.6
BCS	La Paz	4.4	5.5	6	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
BC	Mexicali	4.1	4.4	5	5.6	6.6	7.3	7	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
BC	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
BCS	S. José del Cabo	5	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Cam	Campeche	4.8	5.7	6	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5	4.3	4.4	6	5.2
Chis	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chis	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chis	San Cristóbal	4	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chis	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chis	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
Chih	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6	5.2	5.3	8.9	5.9
Chih	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chih	Cd. Juárez	6	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
Coah	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coah	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8

Figura 3 horas solar pico promedio por mes en diversas localidades de México.

3.3. Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica tiene múltiples aplicaciones. Puede alimentar dispositivos de bajo consumo como lámparas, radios y electrodomésticos en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica convencional.

Para proyectos más grandes, se pueden instalar sistemas fotovoltaicos para generar electricidad a gran escala y conectarla a la red de distribución eléctrica. Esta fuente de energía es limpia, renovable y sostenible, ya que no produce emisiones contaminantes [26]. Además, las nuevas tecnologías han permitido la mejora en la eficiencia de los paneles solares, así como la integración de sistemas de almacenamiento de energía para garantizar el suministro en momentos de baja irradiación solar. Esto hace que la energía solar fotovoltaica sea una de las principales soluciones para combatir el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles [26].



figura 5 sistema fotovoltaico autónomo instalado en una comunidad rural de Chiapas.

3.3.1. Ventajas de la energía fotovoltaica

La energía solar es una fuente renovable abundante y disponible en todo el mundo. Su principal ventaja es que puede ser utilizada tanto a pequeña escala, como en viviendas con paneles solares, como en grandes plantas para alimentar redes eléctricas. Además, la energía solar fotovoltaica es silenciosa y de bajo mantenimiento, lo que la hace ideal para múltiples contextos [27].

Los avances tecnológicos han mejorado su eficiencia y reducido los costos, haciéndola más accesible. Finalmente, sus componentes pueden ser reciclados, lo que contribuye a minimizar su impacto ambiental.

Las principales ventajas de la energía solar fotovoltaica incluyen:

1. Fuente inagotable: El sol es una fuente constante y renovable de energía.
2. Disponibilidad global: Puede aprovecharse en cualquier parte del mundo, incluso en zonas remotas.
3. Bajo impacto ambiental: No genera ruido ni emisiones contaminantes durante su uso.
4. Bajo mantenimiento: Requiere mínimas intervenciones una vez instalada.
5. Reciclabilidad: Los materiales de los paneles solares pueden reciclarse al final de su vida útil.
6. Accesibilidad: Cada vez más asequible gracias a los avances tecnológicos y reducción de costos.

3.4. Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno observado cuando un material, generalmente metálico, emite electrones al ser irradiado por luz de una cierta frecuencia. Este descubrimiento fue hecho por Heinrich Hertz y posteriormente explicado teóricamente por Albert Einstein en 1905, quien postuló que la luz está compuesta por partículas llamadas fotones.

3.4.1. Proceso del efecto fotoeléctrico

Cuando la luz incide sobre una superficie metálica, los fotones pueden ser absorbidos por los electrones en el metal. Si la energía del fotón ($E_{\text{fotón}}$) es suficiente para superar la función trabajo (ω), que es la energía mínima requerida para liberar un electrón, entonces el electrón es emitido con una energía cinética (T) [28]. La ecuación básica que describe este proceso es:

$$E_{\text{fotón}} = h\nu$$

donde:

- h es la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
- ν es la frecuencia de la radiación electromagnética (luz incidente).

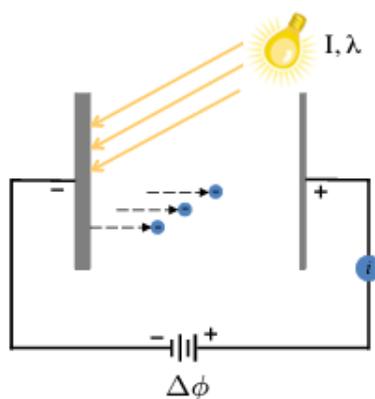


figura 6 esquema que ilustra el principio del efecto fotoeléctrico.

La energía total del fotón se distribuye entre la energía cinética del electrón y la función trabajo:

$$h\nu = \omega + T$$

Esto implica que para que ocurra el efecto fotoeléctrico, la energía del fotón debe ser mayor o igual que la función trabajo del material [28].

3.4.2. Aplicaciones del efecto fotoeléctrico

Este fenómeno tiene aplicaciones prácticas en dispositivos como las celdas fotovoltaicas, donde se convierte la luz solar en electricidad. También se utiliza en la construcción de detectores de luz y cámaras fotográficas, entre otros.

3.5. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el físico francés Edmond Becquerel en 1839. Este fenómeno describe cómo la energía solar se convierte en electricidad a través del efecto fotoeléctrico, que ocurre cuando una superficie sólida emite electrones al ser irradiada con luz. En las celdas fotovoltaicas, los fotones de la luz solar son absorbidos, y su energía es transferida a los electrones. Estos electrones se liberan de su estado habitual, generando corriente eléctrica. Es crucial que solo los fotones absorbidos por la celda contribuyan a la generación de electricidad, mientras que los demás pasan o se reflejan sin efecto eléctrico.

Las celdas fotovoltaicas están compuestas por materiales semiconductores, como el silicio, que son clave para optimizar este proceso. Además, los avances en materiales como el perovskita están mejorando la eficiencia de conversión energética, haciéndola una opción cada vez más competitiva en el campo de las energías renovables.

El efecto fotovoltaico puede describirse mediante ecuaciones que explican la conversión de energía lumínica en eléctrica. Una de las principales es:

$$E = hf$$

donde:

- E es la energía del fotón,
- h es la constante de Planck (6.626×10^{-34} J·s)
- f es la frecuencia de la radiación electromagnética (luz incidente).

Para el flujo de corriente en una celda fotovoltaica, se utiliza la ecuación de la corriente generada:

$$I = q \cdot (J_{sc} - J_{rec})$$

donde:

- I es la corriente,
- q es la carga del electrón,
- J_{sc} es la densidad de corriente de cortocircuito generada por la luz,
- J_{rec} es la corriente de recombinación.

3.6. Semiconductores en celdas fotovoltaicas

Las celdas solares están compuestas principalmente de materiales semiconductores, siendo el silicio el más común, ya sea en su forma monocristalina, policristalina o amorfa. También es posible utilizar compuestos formados por elementos de los grupos III y V de la tabla periódica, como el arseniuro de galio (GaAs), fosfuro de indio y galio (InGaP), arseniuro de indio y galio (InGaAs), y antimonuro de galio (GaSb). Asimismo, se emplean compuestos provenientes de los grupos IIb y IV, tales como el seleniuro de zinc (ZnSe), sulfuro de cadmio (CdS), telurio de cadmio (CdTe), y seleniuro de cobre e indio (CuInSe) o seleniuro de cobre, indio y galio (CuInGaSe) [29].

La selección de los materiales para las celdas solares se basa en sus propiedades de absorción del espectro solar y en el costo y viabilidad de su fabricación. El silicio

ha dominado en aplicaciones terrestres debido a que su capacidad de absorción se ajusta bien al espectro solar y porque su producción está ampliamente desarrollada gracias a su papel en la industria de semiconductores electrónicos. No obstante, las celdas solares de silicio, al ser un material único, han alcanzado un límite de eficiencia de alrededor del 26.3% [29].

Para aplicaciones que demandan mayor eficiencia, como las utilizadas en el espacio, se recurren a dispositivos multijuntura que combinan varios materiales con diferentes rangos de absorción del espectro solar. Las celdas solares multijuntura, empleadas en satélites, están formadas por capas de compuestos III-V, como el germanio (Ge), arseniuro de galio (GaAs) y fosfuro de indio y galio (InGaP), depositados de manera epitaxial sobre un mismo sustrato. Estas celdas pueden alcanzar eficiencias de hasta el 37.9% [29]. Además de su alto rendimiento, estos compuestos ofrecen ventajas adicionales para aplicaciones espaciales, como su resistencia a la radiación, mayor durabilidad y menor peso, compensando así su elevado costo de producción.

Cabe destacar que los semiconductores juegan un papel crucial en la conversión de la energía solar en electricidad, ya que absorben los fotones del sol y generan pares electrón-hueco. En celdas solares de silicio, por ejemplo, este proceso ocurre en una sola unión p-n, mientras que en celdas multijuntura se aprovechan materiales con diferentes anchos de banda, lo que permite captar una mayor porción del espectro solar y aumentar la eficiencia global del dispositivo. Esto convierte a las celdas multijuntura en una opción ideal para aplicaciones que requieren alta eficiencia, como la industria aeroespacial [30].

3.7. Celdas fotovoltaicas

Los paneles solares, también conocidos como módulos fotovoltaicos, son dispositivos diseñados para convertir la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestos principalmente por células solares hechas de

materiales semiconductores, como el silicio, que tienen la capacidad de generar corriente eléctrica cuando se exponen a la radiación solar. Cada panel solar está formado por una serie de estas células conectadas en serie o en paralelo para aumentar la cantidad de energía producida.

El funcionamiento básico de un panel solar involucra la absorción de fotones de la luz solar, que energizan los electrones en el semiconductor, creando una corriente eléctrica que puede ser capturada y utilizada. Los paneles solares se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas residenciales y comerciales hasta instalaciones a gran escala y aplicaciones espaciales. Su capacidad para generar electricidad de manera limpia y renovable los convierte en una opción clave para la sostenibilidad energética y la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

3.7.1. Principio de funcionamiento de las celdas solares.

Las celdas solares funcionan mediante el efecto fotovoltaico, un proceso en el cual la energía solar se convierte en electricidad. Estas celdas están compuestas principalmente por materiales semiconductores, como el silicio, que tienen propiedades específicas para generar electricidad cuando la luz incide sobre ellos. Las celdas están formadas por dos capas de silicio, una de tipo P (con menos electrones) y otra de tipo N (con más electrones), separadas por una unión p-n. Cuando los fotones de la luz solar impactan en la celda, energizan los electrones en la capa de silicio N, generando un flujo de estos hacia la capa P, lo que produce una corriente eléctrica que se puede aprovechar a través de los contactos metálicos del dispositivo [31].

El mayor desafío en la eficiencia de las celdas solares de silicio radica en la limitada porción del espectro solar que aprovechan, ya que solo capturan fotones en el rango visible. Los fotones infrarrojos no tienen la energía suficiente para activar los electrones, mientras que los fotones ultravioletas son demasiado energéticos y generan calor, reduciendo la eficiencia. Para mejorar este rendimiento, se están

utilizando tecnologías como nanopartículas luminiscentes, que convierten la radiación ultravioleta en luz visible, ampliando el rango de fotones aprovechables y aumentando la eficiencia de la celda [32].

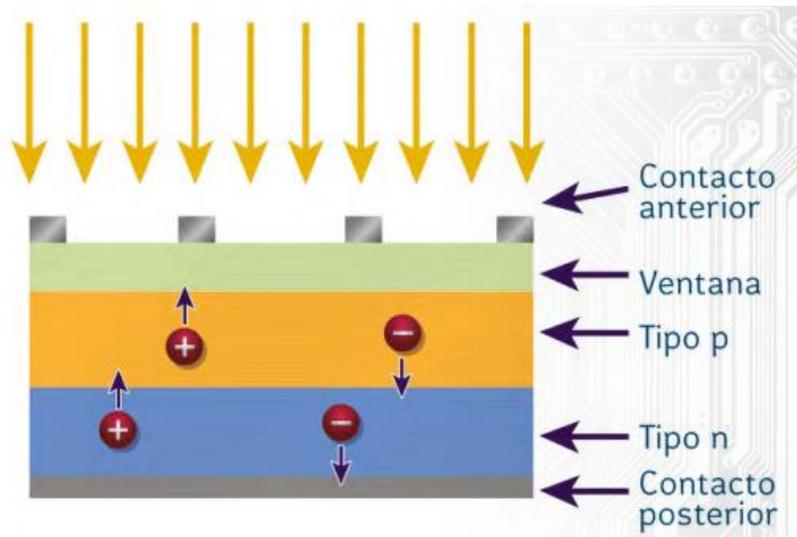


figura 7 esquema básico de una celda solar de silicio.

3.7.2. Tipo de celdas fotovoltaicas

Existen diversos tipos de celdas fotovoltaicas, cada una con características particulares que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones. Las celdas de silicio son las más comunes y producidas a nivel mundial, y dentro de esta categoría se encuentran variantes como el silicio monocristalino, multicristalino y amorfo. Estas celdas ofrecen una eficiencia que varía entre el 20% y el 25%, dependiendo del tipo de silicio utilizado. Otro tipo de celdas son las llamadas de películas delgadas [33]. Entre estas destacan las celdas de CdTe (telurio de cadmio), que alcanzan una eficiencia superior al 20% y presentan la ventaja de ser más económicas de producir. También se encuentran las celdas CIGS, que utilizan una combinación de cobre, indio, galio y selenio, y que logran eficiencias similares [34].

En cuanto a las celdas emergentes, un ejemplo destacado son aquellas basadas en el compuesto CZTS ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS/Se}_4$). Aunque su eficiencia es menor, alrededor del

12%, su gran ventaja radica en el uso de materiales abundantes en la corteza terrestre, lo que las convierte en una opción de bajo costo. Las celdas de perovskita son otro desarrollo reciente que ha generado gran interés. Estas celdas, que emplean un material híbrido con estructura de perovskita, han mostrado un aumento sorprendente en su eficiencia en poco tiempo, alcanzando más del 20% [34].

3.7.2.1. Celdas monocristalinas

Las celdas solares monocristalinas son uno de los tipos más eficientes y populares en la tecnología fotovoltaica. Estas celdas están fabricadas a partir de un único cristal de silicio, lo que permite una mayor movilidad de los electrones y, por lo tanto, una mayor eficiencia en la conversión de luz solar en electricidad. Con una eficiencia que suele superar el 20%, las celdas monocristalinas son ideales para espacios limitados, ya que generan más energía por área en comparación con otros tipos de celdas, como las policristalinas o las de película delgada [35]. Aunque su proceso de fabricación es más costoso, la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de las celdas monocristalinas las convierten en una opción atractiva para instalaciones residenciales y comerciales [36].

3.7.2.2. Celdas policristalinas

Las celdas solares policristalinas, también conocidas como multicristalinas, están formadas por múltiples fragmentos de silicio en lugar de un solo cristal, lo que les confiere un proceso de fabricación más económico y sencillo. Aunque su eficiencia es ligeramente inferior a la de las celdas monocristalinas, situándose entre el 15% y el 20%, su coste más bajo las convierte en una opción popular para proyectos de gran escala donde el espacio no es un factor limitante [37]. Sin embargo, debido a la presencia de múltiples cristales en su estructura, los electrones tienen menos libertad de movimiento, lo que reduce su rendimiento en comparación con las celdas monocristalinas, especialmente en condiciones de alta temperatura [38].

3.8. Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es una tecnología que convierte la energía solar en electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas. Estos sistemas están compuestos por varios componentes clave, que incluyen paneles solares, inversores, controladores de carga, baterías (en sistemas con almacenamiento), estructuras de montaje y el cableado necesario para conectar el sistema. Los paneles solares capturan la radiación solar y la transforman en corriente continua (CC), que luego es convertida en corriente alterna (CA) por los inversores para su uso en aplicaciones domésticas o industriales. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser conectados a la red eléctrica o funcionar de manera autónoma en instalaciones fuera de la red [39].

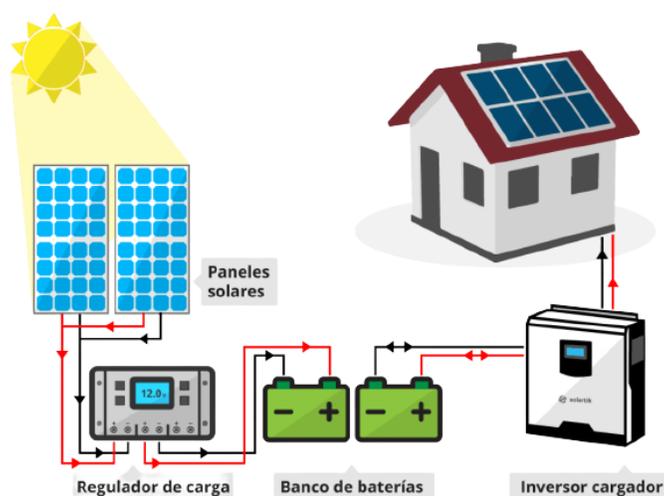


figura 8 "diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo.

3.8.1. Controlador

El controlador o regulador es un componente clave que se encuentra entre los paneles solares y las baterías en un sistema fotovoltaico. Su principal función es prevenir tanto la sobrecarga como la sobre descarga de las baterías, lo que contribuye a extender su vida útil [39]. Los controladores pueden operar bloqueando

la corriente inversa y asegurando una carga óptima. Existen dos tipos de reguladores principales: PWM, que fuerza a los módulos a operar a la tensión de las baterías, y MPPT, que maximiza la potencia al permitir que los paneles solares operen en su punto óptimo [40].

3.8.2. Batería

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos almacenan el exceso de energía para su uso posterior, como durante la noche o en días nublados. Estas baterías son de ciclo profundo, lo que significa que están diseñadas para descargas lentas y recargas irregulares. Su vida útil depende de la profundidad de descarga, siendo recomendable un 20% diario para optimizar su funcionamiento y longevidad [40].

3.8.2.1. Batería de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido son una opción común en los sistemas fotovoltaicos. Se dividen en dos tipos principales: las de ventilación (requieren mantenimiento) y las selladas (sin mantenimiento). Son conocidas por ser económicas, aunque su vida útil y eficiencia tienden a ser inferiores en comparación con otras tecnologías de baterías más modernas [40].

3.8.2.2. Baterías de Fosfato de Hierro Litio (LiFePO₄)

Las baterías de Fosfato de Hierro Litio (LiFePO₄) son un tipo de baterías recargable de Ión Litio para aplicaciones que requieran elevadas potencias. Poseen altas corrientes de descarga, no son explosivas, presentan un número de ciclos muy elevados, y su densidad energética es inferior al Ión Litio de cobalto el primer año, pero muy superior en el tercer año por ser más estable, lo que redundará en una vida útil muy superior, hasta 10 veces con respecto a otras tecnologías de ión litio o plomo ácido. [40]. La siguiente imagen muestra las especificaciones de una celda de batería LiFePO₄.

Especificación de celda	Batería LiFePO4
Tensiones nominales (v/celda)	3.2V
Voltaje de trabajo (v/celda)	3.0-3.3V
Densidad de energía (WH/kg)	175 Wh / kg
Rango de velocidad C de carga (C)	0.5-1.5 °C 1 °C típico
Tasa C de descarga (C)	2-10C
Voltaje mínimo de descarga	2.5V
Voltaje de carga máximo	3.65V
Vida útil (1C)	≥ 2000 (según situaciones realistas)
Rango de temperatura de trabajo	-50 ~ 60 °C
Temperatura térmica desbocada	≥ 500 °C

Tabla 1. Especificaciones de la batería LiFePO4.

3.8.2.2.1. Ventajas de las baterías de LiFePO4

Las principales ventajas de las baterías de LiFePO4 son las siguientes:

Alto rendimiento de seguridad: El enlace PO en la estructura cristalina LiFePO4 es estable y difícil de descomponer. Incluso bajo altas temperaturas o condiciones de sobrecarga, no sufre colapso estructural ni genera sustancias altamente oxidantes como las baterías de óxido de cobalto y litio. LiFePO4 tiene una temperatura de descomposición de aproximadamente 600 °C, lo que contribuye a su excelente rendimiento de seguridad.

Larga vida útil: Las baterías de plomo-ácido suelen tener un ciclo de vida de alrededor de 300 ciclos, con un máximo de aproximadamente 500 ciclos. Por el contrario, las baterías LiFePO4 pueden alcanzar una vida útil de más de 2000 ciclos cuando se utilizan carga estándar (0.2 C, 5 horas). En las mismas condiciones, las baterías LiFePO4 tienen una vida útil teórica de 7 a 8 años, mientras que las baterías de plomo-ácido del mismo peso no suelen durar más de 1 a 1.5 años. Teniendo en cuenta todos los factores, la relación rendimiento-precio de las baterías LiFePO4 es teóricamente más de cuatro veces mayor que la de las baterías de plomo-ácido.

Resistencia a altas temperaturas: Las baterías LiFePO₄ tienen un amplio rango de temperaturas de funcionamiento (de -20 °C a +75 °C) y presentan una excelente resistencia a altas temperaturas. El pico térmico de las baterías LiFePO₄ puede alcanzar de 350 °C a 500 °C, mientras que las baterías LiMn₂O₄ y LiCoO₂ solo alcanzan alrededor de 200 °C.

Gran capacidad: Las baterías LiFePO₄ tienen una mayor capacidad en comparación con las baterías normales, como las de plomo-ácido. La densidad de energía de las baterías de plomo-ácido es de aproximadamente 40 Wh/kg, mientras que las baterías LiFePO₄ convencionales en el mercado alcanzan densidades de energía de 90 Wh/kg o más.

Sin efecto de memoria: Las baterías LiFePO₄, como la mayoría de las baterías de iones de litio, no tienen efectos memoria. Se pueden recargar y utilizar en cualquier estado de carga sin necesidad de descargarlos por completo primero. Las baterías recargables suelen experimentar una disminución de su capacidad si se utilizan con frecuencia sin estar completamente descargadas, lo que se conoce como efecto memoria.

Ligero: Las baterías LiFePO₄ de la misma capacidad tienen un volumen de dos tercios de las baterías de plomo-ácido y un peso de un tercio de las baterías de plomo-ácido. Sin embargo, su densidad energética es varias veces mayor que la de las baterías de plomo-ácido.

Amigable con el medio ambiente: Generalmente se considera que las baterías LiFePO₄ están libres de metales pesados y metales raros, no son tóxicas (certificadas por SGS), no contaminantes y cumplen con la normativa europea RoHS. Se consideran baterías ecológicas y respetuosas con el medio ambiente. El respeto al medio ambiente de las baterías de litio es una de las razones clave por las que la industria las prefiere.

3.8.3. Inversor

El inversor es un componente fundamental en los sistemas fotovoltaicos, encargado de convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares o las baterías en corriente alterna (CA), que es la forma de energía utilizada por la mayoría de los electrodomésticos. Los inversores modernos utilizan técnicas como la modulación por ancho de pulso (PWM) para generar una onda senoidal de alta calidad. Además, deben contar con protecciones contra fallos eléctricos y proporcionar monitorización de datos para garantizar su óptimo funcionamiento [40].

3.8.4. Estructura del sistema fotovoltaico

La estructura en un sistema fotovoltaico es el soporte físico donde se montan los paneles solares. Este sistema debe estar diseñado para resistir condiciones climáticas extremas y asegurar que los paneles mantengan una posición adecuada para maximizar la recolección de energía [40].

3.8.5. Orientación de los paneles solares

La orientación óptima de los paneles solares depende de la ubicación geográfica del sitio de instalación. En el hemisferio norte, los paneles suelen orientarse hacia el sur para maximizar la exposición al sol. Además, el ángulo de inclinación debe ajustarse en función de la latitud y la época del año para mejorar la eficiencia del sistema [40].

3.9. Conexiones fotovoltaicas

Las conexiones fotovoltaicas se realizan para configurar adecuadamente un sistema solar de acuerdo con los requerimientos de voltaje y corriente. Las tres principales configuraciones son en serie, en paralelo y mixtas, y cada una tiene sus características y beneficios [40]. En la figura 9 se aprecia lo antes mencionado.

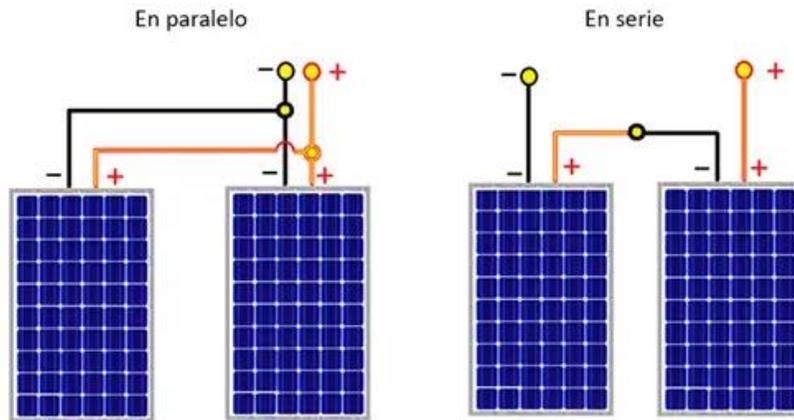


figura 9 esquema de conexión de módulos fotovoltaicos (paralelo y serie).

3.9.1. Conexión de módulos fotovoltaicas en serie

En una conexión en serie, se suman los voltajes de los módulos, mientras que la corriente se mantiene constante. Este tipo de conexión es útil cuando se requiere un mayor voltaje, por ejemplo, para sistemas que necesitan mayor capacidad de voltaje para funcionar correctamente. Un ejemplo sencillo es que, si conectamos dos paneles de 12 V en serie, obtenemos un total de 24 V [40]. Sin embargo, una desventaja es que el rendimiento general del sistema puede verse afectado si un panel en la serie está sombreado o dañado, ya que la corriente en todos los módulos será la misma que la del panel más débil.

3.9.2. Conexión de módulos fotovoltaicas en paralelo

En la conexión en paralelo, la corriente se suma mientras que el voltaje permanece constante. Este tipo de conexión se usa cuando se necesita incrementar la corriente, manteniendo el mismo nivel de voltaje. Es útil en sistemas que requieren un mayor flujo de corriente para alimentar equipos de alto consumo. Por ejemplo, si conectamos dos paneles de 12 V y 5 A en paralelo, el sistema mantendrá un voltaje de 12 V, pero la corriente aumentará a 10 A [40]. La principal ventaja de esta configuración es que, si uno de los paneles falla, el resto de los paneles pueden seguir operando sin afectar significativamente el rendimiento general [41].

3.9.3. Conexión de módulos fotovoltaicas mixto

La conexión mixta combina las conexiones en serie y paralelo. En esta configuración, se conectan grupos de módulos en serie para alcanzar el voltaje deseado, y luego esos grupos se conectan en paralelo para aumentar la corriente. Es especialmente útil en sistemas de mayor escala que requieren un equilibrio entre voltaje y corriente, como en plantas solares. Esta configuración ofrece flexibilidad y eficiencia en el diseño del sistema, permitiendo optimizar tanto el voltaje como la corriente según las necesidades del sistema [41].

3.10. Normatividad

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 690: Determina el cálculo de la corriente máxima en sistemas fotovoltaicos para dimensionar conductores y protecciones.

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 210: Requisitos para circuitos derivados en viviendas.

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 310: Requisitos de capacidad de corriente, caída de tensión y selección de conductores.

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 310: Requisitos de capacidad de corriente y selección de conductores en corriente alterna.

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 210: Requisitos para circuitos de iluminación.

NOM-001-SEDE-2012 – Capítulo 240: Protección contra sobrecorriente.

NOM-002-SEDE-2010: Regulaciones de protección contra sobrecarga y sobrecorriente en instalaciones de baja tensión.

NEC (NFPA 70) – Sección 690.8: Factor de seguridad y cálculo de corriente máxima.

NEC (NFPA 70) – Sección 310.15: Especifica la capacidad de corriente de los conductores según calibre y condiciones ambientales.

NEC (NFPA 70) – Capítulo 210: Especificaciones para circuitos de uso general, tomacorrientes y luminarias.

NEC (NFPA 70) – Capítulo 210: Normas específicas para iluminación y baja potencia.

NEC (NFPA 70) – Capítulo 240: Requisitos de selección y uso de dispositivos de protección.

IEC 60364-7-712: Definición de requisitos para dimensionar conductores en sistemas solares.

IEC 62930: Requisitos de aislamiento y características de cables para aplicaciones fotovoltaicas.

IEC 62446: Requisitos mínimos de seguridad en cableado y aislamiento de sistemas fotovoltaicos.

CAPITULO 4 METODOLOGIA

4. Introducción

En este capítulo se describen los procedimientos y métodos aplicados para el criterio de selección de comunidades, dimensionamiento e implementación de los sistemas fotovoltaicos autónomos centralizados.

4.1. Sección de la comunidad

Para la selección de la comunidad se utilizó la página de CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) en esta se genera información objetiva sobre la situación de la política social y la medición de la pobreza en México.

Los criterios que se consideraron para la selección fueron los siguientes:

- Que no existieran ningún tipo de conflictos internos de índole religioso, cultural o político entre los habitantes.
- Carencia de necesidades básicas como la energía eléctrica.
- Baja densidad de población.
- Cercanía a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez
- Zona segura

4.2. Visita a la comunidad

Una vez seleccionada la comunidad se procedió a hacer una visita donde se platicó con los habitantes para conocer sus necesidades y en base a los datos recabados proponer una solución.

4.3. Aplicación de encuestas para datos preliminares

Se hizo una investigación cuantitativa llevada a cabo a través de un cuestionario con preguntas específicas que se aplicó a las cabezas de familia de cada uno de los hogares de la comunidad, estos cuestionarios contenían preguntas abiertas donde se dieron a conocer puntos muy importantes para el proyecto como se observa en la siguiente tabla:

Datos demográficos de la comunidad	Porcentaje %
Índice de fecundidad	
Población analfabeta	
Población analfabeta mujeres	
Población analfabeta hombres	
Grado de escolaridad	
Grado de escolaridad hombres	
Grado de escolaridad mujeres	
Datos de cultura indígena	
Porcentaje de población indígena	

Porcentaje que habla lengua indígena	
Porcentaje que habla lengua indígena y no español	
Desempleo, Economía y Vivienda	
Número de viviendas particulares	
Viviendas con electricidad	
Viviendas con agua entubada	
Viviendas con escusado	
Viviendas con radio	
Viviendas con televisión	
Viviendas con refrigerador	
Viviendas con lavadora	
Viviendas con automóvil	
Viviendas con teléfono celular	
Viviendas con internet	

Tabla 2. Datos demográficos de la comunidad

4.4. Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos centralizados.

Después de realizar las entrevistas y aplicar las encuestas se procedió al dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos autónomos centralizados. Se consideraron dos parámetros esenciales, uno de ellos es el recurso solar de la zona (radiación solar) donde se implementó el sistema y el segundo es la demanda

energética (suma de potencias, voltajes y corrientes, con los cuales operan los dispositivos eléctricos).

4.5. Demanda energética de cada una de las viviendas

El consumo energético se calcula en base a la potencia y la cantidad de los aparatos eléctricos o equipos, así como también el tiempo de funcionamiento de los mismos, como se muestra a continuación:

$$D_E = (P)(t)$$

Donde:

D_E : demanda energética

P : Potencia de los equipos

t : tiempo de funcionamiento en h.

Equipos o aparatos	Cantidad	Potencia nominal (W)	Horas de uso diario (hr.)	Consumo de electricidad al día. (KWh)
Refrigerador				
Televisión				
Focos interiores				
Foco exterior				
ESTIMACIÓN DE CONSUMO DIARIO TOTAL				Σ

Tabla 3. Levantamiento estimado por vivienda

4.6. Determinación del consumo total comunitario para la central fotovoltaica

Este se obtiene al multiplicar la demanda energética de la vivienda (KWh) por el número total de viviendas estimadas.

$$E_T = (E_v)(N_v)$$

Donde:

E_T: consumo total de energía

E_v: demanda energética por vivienda

N_v: número de viviendas

4.7. Selección de componentes del sistema solar fotovoltaico autónomo centralizado

El sistema fotovoltaico se compone de múltiples subsistemas, incluidos los de generación, acumulación, regulación y conversión. A continuación, se proporciona una descripción de cada uno de los componentes que conforma el sistema fotovoltaico dimensionado, así como también los cálculos de cada uno.

4.8. Selección de paneles fotovoltaicos (sistema de generación)

El panel fotovoltaico, es la parte del sistema que va a proveer de energía eléctrica mediante la conversión directa de la radiación solar, en energía eléctrica junto a otros equipos. Al determinar la demanda energética se propuso que cada vivienda sería satisfecha con un panel fotovoltaico de máxima capacidad, con el objetivo de tener un sobredimensionamiento para que los habitantes puedan adquirir más dispositivos en el futuro, optimizar el recurso económico y el uso de espacios disponible para la instalación.

4.9. Selección de baterías (sistema de acumulación)

Las baterías juegan un papel fundamental en el sistema, estas permiten el almacenamiento de la energía generada durante las horas de mayor irradiación solar, garantizando la disponibilidad de electricidad durante la noche o periodos de baja producción. Para dimensionar el banco de baterías de la central fotovoltaica se debe tener en cuenta la siguiente serie de pasos:

- La demanda energética del consumo total diaria para la central fotovoltaica.
- La autonomía (definir cuantos días debe operar el sistema sin generación solar).
- La profundidad de descarga de la batería
- Definir el voltaje del sistema.
- La capacidad nominal de la batería.
- Costo.
- Durabilidad de la batería.
- Contaminación ambiental

Para determinar la energía total necesaria para las baterías se debe utilizar la siguiente formula:

$$E_{Total} = \frac{E \times D}{DoD}$$

Donde:

E_{Total}: Energía total

E: demanda energetica del consumo total diaria

D: autonomia del sistema

DoD: profundidad de descarga de la bateria

Considerando los puntos anteriores el número de baterías necesarias se calcula con la siguiente formula:

$$N_{baterias} = \frac{E_{Total}}{C_b \times V}$$

Donde:

$N_{baterias}$: numero de baterias

E_{Total} : Energia total

C_b : Capacidad nominal de la bateria

V : Voltaje del sistema

4.10. selección de Inversor (Regulación y conversión)

El inversor también es una parte importante del sistema, este se encarga de transformar la salida de corriente directa (CD) de los paneles solares en electricidad de corriente alterna (CA), lo que permite que nuestros electrodomésticos, y otros dispositivos funcionen. Los datos necesarios para dimensionar correctamente la central fotovoltaica son los siguientes:

- Potencia máxima requerida por la comunidad (P_{max}).
- Tensión nominal de la batería.
- Factor de sobredimensionamiento del inversor (usualmente es de 1.2 a 1.3).

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procede a realizar el cálculo con los siguientes datos a la mano:

1. Cálculo de la potencia del inversor.

Este se calcula tomando en cuenta la P_{max} por el factor de sobredimensionamiento.

$$P_{inversor} = P_{max} \times F_{sobredimensionamiento}$$

2. Compatibilidad con el sistema de almacenamiento (baterías)

Es importante que este sea compatible con el banco de baterías en términos de voltaje. Si su sistema de almacenamiento es de 48 V, el inversor debe ser de 48 V en su entrada de corriente directa.

3. Tipo de onda del inversor.

Cuando los dispositivos son de corriente alterna, es recomendable utilizar un inversor de onda sinusoidal pura. Este tipo de inversor garantiza que los electrodomésticos funcionen de una manera óptima.

4.11. Selección del cableado

Para la selección del tipo y calibre de cable empleado para la central fotovoltaica y la instalación eléctrica de los hogares y la distribución de la energía se tomó como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, la cual es la principal normativa que regula las instalaciones eléctricas en baja tensión. Esta norma está basada en el NEC 2011 (National Electrical Code) y proporciona las directrices para la selección y dimensionamiento de los conductores, protecciones y otros componentes de una instalación eléctrica segura.

4.12. Implementación del sistema fotovoltaico

Para realizar la implementación del sistema se llevaron a cabo una serie de pasos que se enlistan a continuación.

4.12.1. Planificación del transporte

En la planificación del transporte se consideraron algunos parámetros para asegurar que todos los componentes del sistema llegaran de manera segura al sitio de instalación, los cuales se mencionan a continuación:

4.12.1.1. Descripción del terreno

- Distancia del taller a la comunidad
- Condiciones del camino
- Medio de transporte
- Tiempo estimado de viaje
- Condiciones climáticas

4.12.1.2. Componentes y materiales a transportar

Para determinar la serie de componentes que se necesitaban transportar se dividieron en tablas empezando con la del sistema fotovoltaico.

UNIDAD	COMPONENTES
	Paneles solares
	Inversor
	Baterías
	Estructuras de soporte
	Cable fotovoltaico

Tabla 4. Componentes del sistema fotovoltaico

La siguiente tabla muestra los componentes de instalación eléctrica que se utilizaron en la instalación de los hogares:

UNIDAD	COMPONENTES
	Centro de carga
	Interruptor termomagnético
	Clavija
	Cajas universales
	Apagadores dobles
	Sockets interiores
	Sockets exteriores
	Focos

	Tomacorrientes
	Cable fotovoltaico rojo
	Cable fotovoltaico negro
	Cable eléctrico calibre 12 rojo
	Cable eléctrico calibre 12 negro
	Cable eléctrico calibre 14 rojo
	Cable eléctrico calibre 14 negro
	Grapas para sujetar cables

Tabla 5. Componentes de instalación eléctrica

Finalizando con las herramientas personales a utilizar en ambas instalaciones mencionadas:

HERRAMIENTAS PPERSONALES
Llave 7/16, llave 10, llave 13
Desarmadores: Phillips #0, de cruz, plano, desarmador probador de corriente.
Pinzas: de electricista, pinza de punta, de corte diagonal, pelacables automático.
Taladro compacto inalámbrico 12 V.
Broca para taladro 3/8, adaptador de cruz para taladro.
Martillo

Tabla 6. Herramientas para la instalación

4.12.2. Selección del lugar de instalación de las centrales fotovoltaicas.

La ubicación de las centrales fotovoltaicas fue seleccionada a través de un análisis de varios factores técnicos y geográficos. Los criterios que se tomaron en cuenta fueron los siguientes:

- Disponibilidad de radiación solar: la zona que se eligió debe presentar un alto nivel de radiación solar la mayor parte del año.

- Espacio disponible: el terreno debe tener suficiente espacio para los paneles y demás equipos.
- Cercanía a las viviendas: la ubicación de la central fotovoltaica se estableció en un punto centralizado respecto a las viviendas beneficiadas.
- Impacto ambiental y social: la instalación se realizó en un área que no interfiere con ecosistemas sensibles y zonas de conservación además se trabajó con la comunidad para que la esta no afectara el uso de suelo (espacios donde siembran) ni sus actividades cotidianas.

4.12.3. Construcción de cimientos para la estructura del sistema

La construcción de los cimientos es una etapa crítica para asegurar la estabilidad y durabilidad de la estructura que soportará los módulos fotovoltaicos. Esta fase fue diseñada siguiendo estándares técnicos y de seguridad, adaptándose a las características del terreno y las necesidades estructurales del sistema.

4.12.4. Instalación de la estructura

Hasta este punto se asegura la correcta posición y orientación de los paneles para maximizar la captación de energía solar, tomando en cuenta lo siguiente:

- Diseño y orientación de la estructura.
- Montaje de la estructura en los cimientos.
- Nivelación y ajuste de la estructura.
- Instalación de soportes y rieles.

4.12.5. Montaje de paneles fotovoltaicos

Una vez instalada la estructura completa se procedió al montaje de los módulos fotovoltaicos. Los módulos fueron asegurados uno a uno firmemente a la estructura

con abrazaderas. Se verificó el correcto posicionado y orientación para evitar sombras que reduzcan la eficiencia del sistema.

4.12.6. Instalación de sistema de regulación, conversión y almacenamiento de energía eléctrica

Hasta este punto se realizó el montaje en la base diseñada para el inversor y se procedió a la interconexión del banco de baterías, utilizando cables de calibre adecuado para minimizar perdidas y garantizar la seguridad de las conexiones.

4.13. Instalación eléctrica de los hogares

Después de montar el sistema fotovoltaico se procedió a la instalación eléctrica de los hogares beneficiados por las centrales fotovoltaicas que fueron implementadas con el objetivo de proporcionar corriente para el funcionamiento de los aparatos electrodomésticos de una forma segura.

4.14. Redes de distribución de energía

Una vez implementado el sistema fotovoltaico y tener la instalación eléctrica de los hogares se procedió a la instalación de las redes de distribución de energía, que son un componente esencial en la infraestructura de las centrales fotovoltaicas, ya que permite transportar la energía generada de las centrales hasta los hogares seleccionados. Los puntos que se consideraron para la implementación de las redes de distribución fueron los siguientes:

- Diseño de las redes de distribución.
- Selección de cables.
- Instalación de postes, soportes y cableado.

4.15. Recomendaciones para el mantenimiento

Para complementar la implementación se brindó capacitación a los pobladores sobre el uso seguro y se dieron recomendaciones para garantizar el rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de los dispositivos de las centrales fotovoltaicas, entre algunas recomendaciones se encuentran las siguientes:

- Limpieza de los módulos fotovoltaicos.
- Verificación de conexiones.
- Identificación de posibles fallos.

4.16. Monitoreo de la producción de energía

Al concluir y poner en marcha la instalación fotovoltaica se procedió al monitoreo preliminar, este es crucial para evaluar su rendimiento, detectar problemas iniciales y optimizar su funcionamiento. A continuación, se describen los aspectos clave que se deben considerar:

- Medición de voltaje y corriente.
- Medición de la radiación solar.
- Estado del banco de batería.
- Temperatura de los paneles solares.

CAPITULO 5 RESULTADOS

5. Introducción

En este capítulo se presentan los datos obtenidos a partir de la implementación y la evaluación de las centrales fotovoltaicas autónomas para la electrificación de comunidades marginadas de Chiapas.

5.1. Selección de la comunidad

Con la investigación se determinó que Tuxtla Gutiérrez es uno de los municipios con mayor número de personas en situación de pobreza, con un total de 270,010 obteniendo así un 46.17% de la población total, como se observa en la siguiente tabla.

Mayor número de personas en situación de pobreza			
No.	Municipio	Número de personas	Población total
1	Tuxtla Gutiérrez	270,010	584,797
2	Tapachula	211,623	361,784
3	Ocosingo	209,226	226,190
4	San Cristóbal de las Casas	138,107	208,888
5	Chilón	131,197	135,413

Tabla 7. Municipios con mayor número de personas en situación de pobreza, Chiapas 2020. (CONEVAL)

Dentro del municipio de Tuxtla Gutiérrez identificamos una comunidad con alto nivel de marginación, llamada Tierra Colorada; Chiapas la cual fue seleccionada para la implementación de los sistemas solares fotovoltaicos. Los principales motivos por los cuales se seleccionó dicha comunidad son: la cercanía al municipio de Tuxtla

Gutiérrez, la seguridad y por qué cumple cada uno de los requisitos que se necesitan para llevar a cabo la implementación del proyecto.

5.2. Área de estudio

Tierra Colorada es una pequeña comunidad situada en la zona aledaña al Parque cañón del sumidero, se ubicada a 9.6 Km al sur del municipio de Tuxtla Gutiérrez, en Chiapas. La comunidad se encuentra a 1211 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 16°50'22.3"N 93°07'33.3"W.

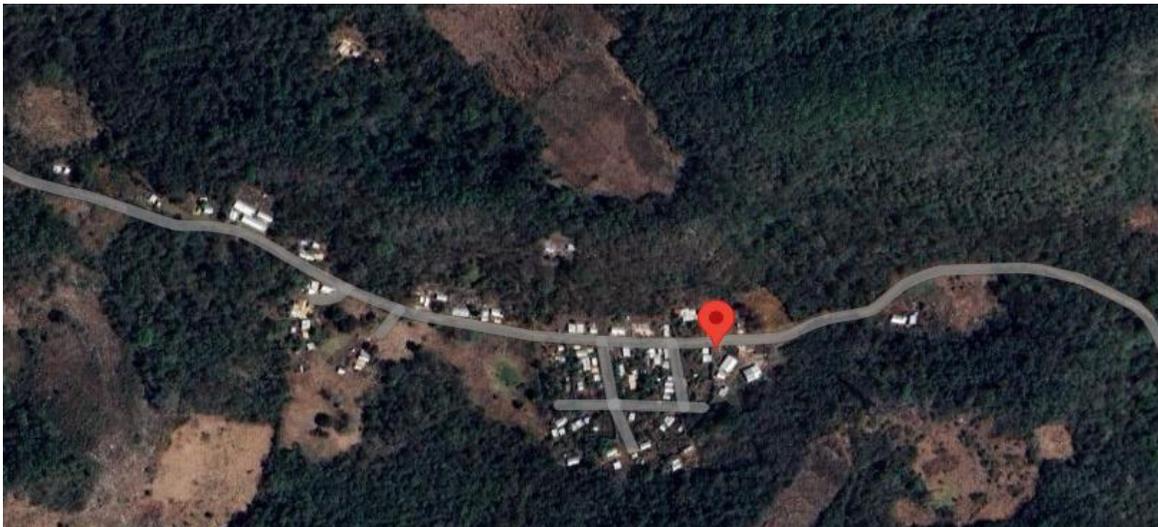


Figura 10 coordenadas exactas de Tierra colorada Chipas.

5.3. Visita a la comunidad

Se hicieron varias visitas a la comunidad de Tierra Colorada; Chiapas con el objetivo de realizar un diagnóstico preliminar de las condiciones actuales de la comunidad en términos de infraestructura y demanda energética.

En el transcurso de la visita, se evidenció que la comunidad, a pesar de su proximidad a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, enfrenta diversas restricciones en cuanto al acceso a servicios básicos, como la electricidad. La falta de un suministro

eléctrico estable en la mayoría de las viviendas, obliga a los residentes a recurrir a fuentes de energía no renovables como las velas, plantas de gasolina y baterías de carro para satisfacer sus necesidades energéticas. Este tipo de deficiencias tiene un impacto directo en el medio ambiente y principalmente en la calidad de vida de la población, afectando el acceso a la educación, el crecimiento económico y la salud, especialmente durante las horas nocturnas.



Figura 11 primera reunión con los integrantes de la comunidad de Tierra Colorada; Chiapas.

(Autor: M. Benítez)

5.4. Aplicación de Encuestas Para Datos Preliminares

Como resultado a la investigación cuantitativa llevada a cabo a través de un cuestionario con preguntas específicas que se aplicó a las cabezas de familia de cada uno de los hogares de la comunidad se recabaron los datos que se muestran en las siguientes tablas:

5.4.1. Datos demograficos en tierra colorada

Indicadores	Año 2024	Año 2010
Índice de fecundidad (hijos por mujeres)	3.02	6.50
Población analfabeta	11.76%	12.34%
Población analfabeta (Hombres)	4.71%	6.50%
Población analfabeta (Mujeres)	7.06%	18.75%
Grado de escolaridad	5.65	4.07
Grado de escolaridad (Hombres)	6.09	4.93
Grado de escolaridad (Mujeres)	5.14	3.06

Tabla 8. Datos demográficos en tierra colorada.

5.4.2. Datos de cultura indigena

Indicadores	Año 2024	Año 2010
Porcentaje de poblacion indijena	100%	100%
Porcentaje que habla lengua indigena	82.65%	81.70%
Porcentaje que habla lengua indigena y no es español	10.88%	14.47%

Tabla 9. Datos de cultura indígena.

5.4.3. Desempleo, economía y vivienda

Indicadores	Año 2024	Año 2010
Población ocupada laboralmente mayor de 12 años	50%	38.72%
Número de viviendas particulares habitadas	63	50

Viviendas con electricidad	10.2%	5.71%
Viviendas con agua entubada	0%	0%
Viviendas con excusado	0%	0%
Viviendas con radio	20.63%	28.57%
Viviendas con televisión	6.35%	4.57%
Viviendas con refrigerador	1.59%	0%
Viviendas con lavadora	0%	0%
Viviendas con automóvil	1.59%	0.0%
Viviendas con teléfono celular	23.81%	5.71%
Viviendas con internet	0%	0%

Tabla 10. Desempleo, economía y vivienda.

Como se observa en las tablas anteriores, la mayoría de los habitantes de la comunidad carecen de servicios básicos como electricidad, agua potable, educación y otros. Esta carencia no sólo se refleja en la calidad de vida de los pobladores, sino también sus oportunidades de desarrollo. La falta de acceso a la electricidad limita el uso de aparatos eléctricos esenciales para la vida cotidiana, como la refrigeración de alimentos. Del mismo modo, la falta de agua potable obliga a la población a recurrir a fuentes inseguras como la captación de agua de lluvia para el consumo, lo que aumenta el riesgo de enfermedades. En cuanto a la educación, las escuelas de la comunidad carecen de los recursos básicos para ofrecer una educación de calidad, lo que afecta a la formación de las nuevas generaciones y perpetúa el ciclo de la pobreza.

5.5. Dimensionado del sistema fotovoltaico

Considerando la radiación solar disponible en el estado de Chiapas y la demanda energética de los distintos dispositivos y luminarias necesarios en cada vivienda, así como la proximidad de los hogares, se realizó el cálculo para determinar la cantidad de energía requerida por cada una de las centrales

fotovoltaicas. El diseño contempla 4 centrales fotovoltaicas, 3 de ellas para suministrar energía eléctrica de 10 a 15 hogares por central y 1 para los espacios públicos, (centro comunitario, alumbrado público, escuelas y centros religiosos). Este enfoque centralizado permite optimizar la distribución de energía, maximizando la eficiencia y minimizando las pérdidas por transmisión, mientras se asegura que las necesidades energéticas de cada hogar sean cubiertas de manera adecuada. También porque se garantiza el cuidado de los componentes, ya que al ser de uso colectivo ponen mayor atención al cuidado de éstos y por último porque con este diseño de distribución se garantiza que si una central falla, los habitantes pueden hacer una conexión a la central más cercana garantizando el suministro de energía eléctrica por lo menos de la iluminación de sus viviendas. En las siguientes imágenes se puede observar con una marca roja la ubicación establecida de cada una de las centrales.



Figura 12. ubicación de las centrales fotovoltaicas

5.5.1. Demanda energética de cada una de las viviendas.

Con base a los datos de las encuestas realizadas se propuso, al observar la necesidad de energía en cada vivienda, cuatro luminarias y dos tomacorrientes para

permitir la conexión de dispositivos básicos y de bajo consumo. La siguiente tabla muestra el levantamiento estimado por vivienda:

Concepto	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso diario (hrs)	Consumo de electricidad (Wh)
Focos interiores	3	9	5	135
Focos exteriores	1	9	12	108
Televisión 32"	1	80	4	320
Frigobar	1	100	8	800
TOTAL				1363

Tabla 11. Levantamiento estimado por vivienda.

Cabe mencionar que el consumo de electricidad se calculó en base a la potencia y la cantidad de los aparatos eléctricos o equipos, así como también el tiempo de funcionamiento de los mismos, como se muestra a continuación:

$$D_E = (P)(t)$$

Cálculo de focos interiores

$$D_E = 3 \times 9 \times 5 = 135 \text{ Wh}$$

Cálculo de los focos exteriores

$$D_E = 1 \times 9 \times 12 = 108 \text{ Wh}$$

Cálculo de la televisión de 32 pulgadas

$$D_E = 1 \times 8 \times 4 = 320 Wh$$

Cálculo de un frigobar

$$D_E = 1 \times 100 \times 8 = 800 Wh$$

Obteniendo un total requerido por vivienda de 1363 Wh al día por cada una de las viviendas de la comunidad.

5.5.2. Determinación del consumo total de la central fotovoltaica.

Una vez obtenido el consumo energético requerido por cada una de las viviendas, se procedió a calcular la demanda total que se necesitaría cubrir con la central fotovoltaica. Tomando en cuenta que cada central se estima para 10 viviendas. Este se obtiene al multiplicar la demanda energética de la vivienda (KWh) por el número total de viviendas estimadas.

$$E_T = (1363wh)(10 viviendas) = 13,630 wh = 13.63 Kwh$$

5.6. Selección de componentes del sistema solar fotovoltaico autónomo centralizado

5.6.1. Paneles fotovoltaicos (sistema de generación)

$$Panel FV = \frac{1363Wh}{4.7hsp} (1.2) = 348W$$

Obtuvimos como resultado que nuestros paneles fotovoltaicos debía ser de 348 W, sin embargo, debido al costo beneficio y con el objetivo de tener un sobredimensionamiento de energía eléctrica para que los habitantes puedan adquirir más dispositivos en el futuro, optimizar el recurso económico y el uso de

espacios disponible para la instalación se decidió que cada vivienda fuera satisfecha con un panel fotovoltaico de 550 W.

5.6.2. selección de Baterías (sistema de acumulación)

Se utilizó el tipo de batería Growatt, reconocido como líder mundial en este tipo de dispositivo especialmente las baterías de Fosfato de Hierro y Litio (LFP): Las baterías LFP de Growatt, como el modelo ARK 2.5H-A1 y la APX 14.3P-B1, son ampliamente reconocidas por su seguridad, durabilidad y estabilidad térmica. Donde su característica más importante para este tipo de sistema autónomo es la longevidad, pues hasta la fecha la poca durabilidad de baterías de Plomo-ácido siguen constituyendo el talón de Aquiles de la sostenibilidad de estos sistemas y en ocasiones el rechazo por parte de la población.

El modelo de batería Growatt AXE 5.0L-C1, no solo garantizan un rendimiento superior, sino que también brindan una flexibilidad incomparable en términos de instalación y expansión, permitiendo adaptaciones según las necesidades del usuario.

 <p data-bbox="256 1654 574 1730"><i>Figura 13. batería Growatt AXE 5.0L-C1</i></p>	<ul data-bbox="662 1241 1425 1843" style="list-style-type: none">• Cada módulo de batería de 5 KWh• Dimensiones 650 mm x 350 mm x 165 mm y un peso de 40 kg.• Tensión nominal de 51.2V• Rango de funcionamiento entre 48V a 57.6V• Conexión interna, no requiere cables• Conexión al inversor sencilla• 5000 ciclos de carga, más de 10 años de durabilidad y 5 de garantía.• Resistente a altas temperaturas, segura y estable• Profundidad de descarga 92%
--	--

Este tipo de Las baterías están diseñadas para operar de manera óptima incluso en condiciones extremas, asegurando un rendimiento confiable y duradero para este tipo de aplicaciones autónomas y además de garantizar su de forma estable y segura el almacenamiento y suministro energético es también sin dudas alguna un vector importante hacia un futuro energético más limpio y eficiente.

Hoja de datos	AXE 5.0L	AXE 10.0L	AXE 15.0L	AXE 20.0L	AXE 25.0L	AXE 30.0L	AXE 35.0L	AXE 40.0L	AXE 45.0L	AXE 50.0L
Demonstración del sistema										
Módulo de batería	AXE 5.0L - C1 (5.0kWh, 51.2V, 45kg)									
Número de módulos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacidad de energía	5.0kWh	10.0kWh	15.0kWh	20.0kWh	25.0kWh	30.0kWh	35.0kWh	40.0kWh	45.0kWh	50.0kWh
Dimensiones	650/350/165mm	650/350/305mm	650/350/445mm	650/350/585mm	650/350/725mm	650/350/865mm	650/350/1005mm	650/350/1145mm	650/350/1285mm	650/350/1425mm
Peso	47kg	92kg	137kg	182kg	227kg	272kg	317kg	362kg	407kg	452kg
Corriente de carga/ descarga máx.	60A	120A	150A	150A	150A	150A	150A	150A	150A	150A
Potencia máxima de carga / descarga	3KW	6KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW	7.5KW

Figura 14 Hoja de datos de la batería.

Una de las ventajas más importantes a resaltar en este tipo de baterías en comparación con las otras marcas existentes en el mercado es su capacidad de ser apilables sin cable alguno

Con base en la información previamente obtenida sobre la demanda energética del consumo total diaria, los días de autonomía del sistema y la profundidad de descarga (DoD 92%) de la batería seleccionada, se procedió a calcular la energía total requerida para el banco de baterías considerando. Este cálculo se lleva a cabo utilizando la siguiente formula:

$$E_{Total} = \frac{\text{demanda energetica del consumo total} \times \text{Dias de autonomia}}{\text{profundidad de descarga}}$$

$$E_{Total} = \frac{13.63 \text{ Kwh} \times 2 \text{ dias}}{0.92} = 29.630 \text{ Kwh}$$

Una vez obtenida la energía total requerida para el banco de baterías y tomando en cuenta que tienen una capacidad de almacenamiento de 5.0 Kwh cada una, se determinó la cantidad requerida.

$$N_{baterias} = \frac{29.30 \text{ Kwh}}{5.0\text{kWh}} = 5.86 \approx 6 \text{ baterias}$$

El cálculo a través de la ecuación anterior arroja un total necesario de 6 baterías para este sistema, debido al poco consumo de energía eléctrica que hay por el momento en la comunidad, se tomó la decisión de colocar dos baterías conectadas en paralelo.

5.6.3. Selección del inversor (Regulación y conversión)

Se utilizó un inversor del tipo de Growatt, mismo que es reconocido como la marca líder mundial este tipo de tecnologías para aplicaciones fotovoltaicas. Este tipo de modelo tiene una potencia máxima de 125kW para su versión a 400Vac y hasta 150kW a 480Vac, con una corriente de entrada de CC máxima que alcanza los 32 A para cada MPPT y los 16 A para cada cadena, este nuevo inversor MAX se adapta bien a los módulos solares de alta potencia y bifaciales. Sus 10 seguidores MPP soportan la conexión de 20 cadenas como máximo, lo que reduce significativamente la pérdida de energía causada por el efecto sombra y el desajuste de los módulos. Además, el inversor MAX también admite una relación CC/CA de hasta el 150%, lo que permite obtener el mejor LCOE para la instalación fotovoltaica. Con el amplio rango de trabajo del MPPT, de 180V a 1000V, el inversor puede empezar a trabajar antes por la mañana y apagarse más tarde por la tarde, consiguiendo un mayor tiempo de funcionamiento y cosechando mucha más energía solar.

Además de un mayor rendimiento, Growatt también ha mejorado la seguridad de funcionamiento con el SPD de tipo II en el lado de CC y CA, el diseño sin fusibles, el interruptor de CC integrado, la protección IP66, así como la protección activa contra arcos (AFCI) opcional y la recuperación PID incorporada para proporcionar una protección completa para el inversor e incluso para todo el sistema solar.

Growatt simplifica la gestión de múltiples inversores con Smart Energy Manager, para realizar la limitación de exportación de energía y el control de la FP del sistema. Tienen la ventaja de poder monitorear el funcionamiento del sistema en cualquier momento y el sistema OSS (Online Smart Service) para que los instaladores y distribuidores puedan realizar un servicio en línea fácil y rápido, como el escaneo y el diagnóstico en línea del IV inteligente, la configuración remota y la actualización del firmware, lo que permite resolver el 60% de los problemas sin necesidad de desplazarse.

 <p><i>Figura 15 Inversor Growatt SPF6000ESPlus</i></p>	<p>Inversor Growatt SPF6000ESPlus SPF6000ESPlus</p> <ul style="list-style-type: none">• Terminal Plug-and-Play para puerto FV• Doble seguidor MPP• Voltaje máximo de entrada FV de hasta 500 Vcc• Prioridad a la entrada FV o de red eléctrica configurable• Hasta 6 inversores en paralelo• Filtro antipolvo para entornos difíciles• Dos terminales de entrada de CA con interruptor de transferencia
--	---

La instalación de los inversores se realizó en un área específica predeterminada para tal efecto, teniendo en cuenta su cercanía al banco de batería para su interconexión. La programación se realizó teniendo en cuenta las características específicas de la instalación fotovoltaica realizada.

El cálculo de la potencia del inversor se realizó tomando en cuenta la potencia máxima requerida por la comunidad (P_{max}) por el número de viviendas consideradas para después multiplicarlo por factor de sobredimensionamiento del inversor (usualmente es de 1.2 a 1.3).

$$P_{inversor} = P_{max} \times N_{Viviendas} \times F_{sobredimensionamiento}$$

$$P_{inversor} = 216 W \times 10 \times 1.2 = 2592 W = 2.5 Kw$$

Se determino a través de la ecuación anterior que se necesita un inversor de 2.5 Kw, pero se contempla el de 6 Kw ya que se piensa en el incremento de consumo energético a largo plazo que puede tener la comunidad.

5.6.4. Selección del cableado

Al seleccionar el cable empleado de las instalaciones eléctricas de los hogares y la distribución de la energía se tomó como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, la cual es la principal normativa que regula las instalaciones eléctricas en baja tensión. Para la instalación de los dos tomacorrientes de las viviendas se utilizó el cable calibre 12 Awg 100% de cobre de la marca lusa en color rojo representando línea y en color negro para representar el neutro. Continuando con las luminarias, se ocupó el cable calibre 14 Awg 100% cobre de la marca lusa así mismo en color rojo para la línea y negro para el neutro.

Finalizando con los apagadores las líneas las representaba el cable calibre 14 Awg color rojo de la misma marca.

Para suministrar la energía eléctrica de la red de distribución al centro de carga de las viviendas de la comunidad utilizamos el cable eléctrico de la marca lusa calibre 10 Awg en rojo para alimentar la línea y en negro para brindar el neutro.

5.7. Implementación del sistema fotovoltaico

Una vez calculado el dimensionado nuestro SFCA se procedió a la implementación tomando en cuenta la topografía, la latitud y la orientación de los paneles.

5.7.1. Planificación del transporte

La comunidad seleccionada presenta tramos de terracería lo que complica el acceso con cualquier tipo de vehículo, se consideraron las camionetas con capacidad para soportar todo tipo de terrenos irregulares, aunque al final se decidió por un camión de tres toneladas para facilitar el traslado de equipos. A continuación, se describe la serie de pasos que se tomaron en cuenta para este proceso:

5.7.1.1. Descripción del terreno y acceso

- Distancia del taller a la comunidad: 26.9 km.
- Condiciones del camino: la mitad del camino se encuentra pavimentado, en la segunda parte del camino nos encontramos con terracería, lo que afecta la velocidad y la maniobra del transporte.
- Medio de transporte: debido a las limitaciones de acceso, al tamaño de los paneles, el peso total de los equipos y personal que viajaba, el camión que se utilizó fue uno de carga de 3 toneladas.
- Tiempo estimado de viaje: 1 hora 30 minutos.
- Condiciones climáticas: durante las temporadas de lluvia las rutas eran intransitables, por lo que se optaba por caminar largos tramos para disminuir el peso y evitar que el camión se atascara.

5.7.1.2. Componentes a transportar:

Para la instalación de las 4 centrales fotovoltaicas se requieren de diferentes tipos de componentes, entre ellos están los del sistema fotovoltaico, los de instalación eléctrica y herramientas de uso personal. En las siguientes tablas se enlistan cada uno de ellos.

5.7.1.2.1. componentes de las 4 centrales fotovoltaicas.

UNIDAD	COMPONENTES
40	Paneles solares
4	Inversor
8	Baterías
24	Bases frontales
24	Bases traseras
88	Clamps

Tabla 12. Componentes del sistema fotovoltaico

5.7.1.2.2. Componentes de instalación eléctrica por vivienda.

UNIDAD	COMPONENTES
1	Centro de carga
1	Interruptor termomagnético
1	Clavija
2	Cajas universales
2	Apagadores dobles
2	Socketes interiores
2	Socketes exteriores
4	Focos
2	Tomacorrientes

Tabla 13. Componentes de instalación eléctrica

5.7.1.2.3. Herramientas personales para las instalaciones antes mencionadas.

HERRAMIENTAS PERSONALES	
Juego de llaves	Llave 7/16, llave 10, llave 13
desarmadores	Desarmadores: Phillips #0, de cruz, plano, desarmador probador de corriente.
pinzas	Pinzas: de electricista, pinza de punta, de corte diagonal, pelacables automático.
taladros	Taladro compacto inalámbrico 12 V.
Accesorios para taladro.	Broca para taladro 3/8, adaptador de cruz para taladro.
martillo	Martillo

Tabla 14. Herramientas para la instalación

5.7.2. Selección del lugar donde se instalaron las centrales fotovoltaicas

Tomando en cuenta los criterios para la selección del lugar descritos anteriormente en el capítulo de metodología, se determinó que las centrales fotovoltaicas autónomas serán de 1x10 (una columna de un panel por una fila de 10 paneles) con una longitud total de 11.47 m x 2.28 de ancho, tal como se muestra en la Figura 22.

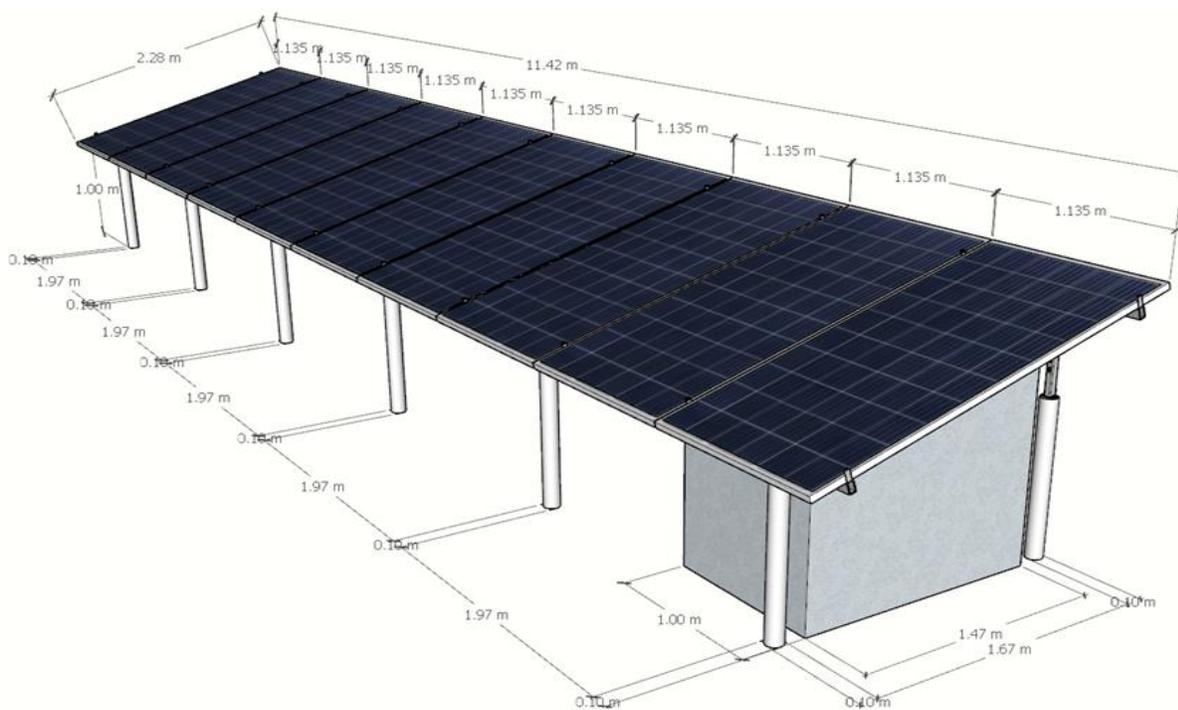


Figura 16 Sistema fotovoltaico centralizado autónomo de 1x10

5.7.3. Construcción de cimientos para la estructura del sistema

En primer lugar, se construyeron los cimientos con base en las características del terreno seleccionado y las cargas estructurales, asegurando la integridad del sistema ante las condiciones climáticas locales, se construyeron a una distancia de 1.97 m, con una altura de 1.00 m, teniendo un total de 12 cimientos para la instalación correspondiente de las estructuras para cada una de las centrales fotovoltaicas dimensionadas. Los materiales y herramientas que se utilizaron para llevar a cabo la construcción son los siguientes:

Materiales

- Cemento gris
- Graba triturada
- Arena
- Tubos de PVC de 6 pulgadas

Herramientas

- Palas
- Agua
- Nivel
- Hilo nylon
- Pico

En la siguiente imagen podemos observar el proceso de construcción a cargo de un ingeniero civil.



Figura 17 Colado de cimientos.

5.8. Instalación de la estructura

La instalación de las estructuras que soportan los módulos fotovoltaicos se llevó a cabo tomando en cuenta los dos puntos antes mencionados. Esta parte de la instalación nos sirvió para garantizar la orientación e inclinación para maximizar la captación de energía solar. En las siguientes imágenes podrán observar el procedimiento de la instalación de las estructuras y rieles.



Figura 18. instalación de las estructuras y rieles.

Con base a la latitud de la ubicación de la comunidad y los estudios de irradiación solar, se determinó que la orientación óptima era hacia el sur (en el hemisferio norte) para maximizar la captación solar a lo largo del año.

5.9. Montaje de paneles fotovoltaicos

Luego de colar los cimientos e instalar la estructura que sostienen a los paneles solares sigue el proceso de montaje de los módulos fotovoltaicos, esta fue una etapa muy importante dentro de la instalación de las centrales fotovoltaicas, ya que su funcionamiento y durabilidad dependen también del correcto

posicionamiento y fijación. A continuación, se enlistan los aspectos que se deben considerar en esta etapa:

- Verificación de los paneles: antes del montaje los módulos fueron inspeccionados para verificar su estado físico y asegurar que no presentaran daños de transporte, como grietas en el vidrio o deformación en el marco de aluminio, tal como se muestra en la figura 19. En la siguiente imagen se puede observar la inspección de los módulos después de un largo camino a la comunidad.



Figura 19 Inspección de módulos fotovoltaicos.

- Después de verificar el buen estado de los paneles se procedió a la a la colocación sobre la estructura: los módulos se fueron colocando uno a uno, en las posiciones previamente determinadas, como se observa a continuación.



Figura 20 Traslado.



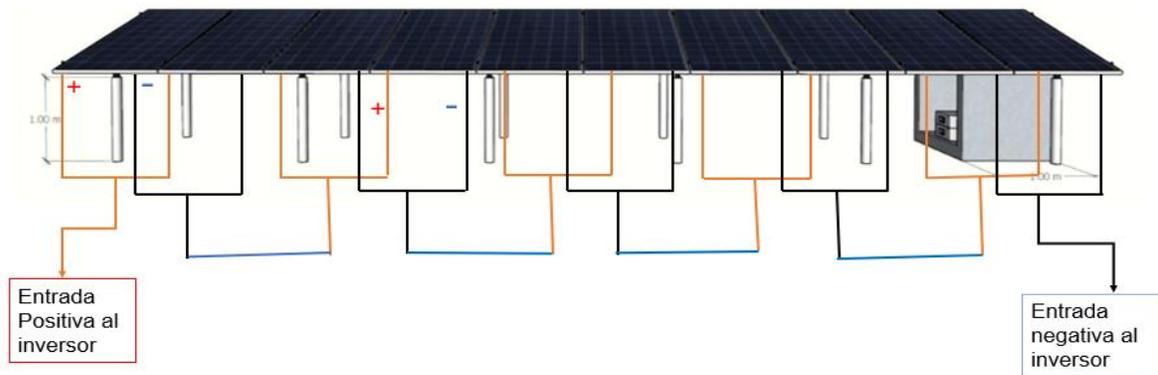
Figura 21 Montaje.

- Fijación de los paneles: los paneles se fijaron a los rieles previamente instalados mediante abrazaderas, utilizando un taladro y un dado de 13 mm para asegurar su ajuste preciso. estas abrazaderas garantizan una sujeción segura y duradera, brindando estabilidad frente a condiciones como vientos fuertes y vibraciones. En la figura 28 se puede observar el proceso anteriormente descrito.



Figura 22 Fijación de los paneles solares

- Conexiones eléctricas: después de asegurar los paneles con las abrazaderas, se procedió a la conexión mixta de los módulos de acuerdo con el diseño del sistema como se muestra en la figura 23:



Primera conexión: en paralelo (++; --)

Segunda conexión: en serie(+ - ; - +)

Figura 23 Conexión mixta de los módulos fotovoltaicos

5.10. Instalación de sistema de regulación, conversión y almacenamiento de energía eléctrica.

En el proceso de la instalación del inversor (sistema de regulación y conversión) se tomó en cuenta un punto muy importante, que fue la ubicación en la que sería montado, para esto se construyó una estructura de cemento para protegerlo y mantenerse cerca de la central fotovoltaica, así como también del banco de baterías.

Los materiales que se utilizaron para construir la estructura son los siguientes:

- Cemento gris
- Blocks térmicos
- Arena
- Agua
- palas

Sin embargo, para la instalación del inversor se utilizaron diferentes tipos de materiales como los que se mencionan a continuación:

- Cable fotovoltaico
- Taladro
- Dado 3/8
- Taquetes de expansión 3/8
- Tornillo 3

A través de las siguientes imágenes 24 se muestra como fue el proceso de instalación del sistema de regulación y conversión.



Figura 24 Instalación del sistema de regulación y conversión.

Una vez finalizada la instalación del inversor se procedió a la conexión del banco de baterías, este se ubicó en la parte plana de la estructura realizada, exactamente debajo del inversor para tener cercanía al momento de conectar los cables. La imagen representa la posición en la que se ubicaron.



Figura 25 Banco de baterías.

Basado en el consumo estimado de 10 viviendas por cada central fueron apiladas 2 baterías de este tipo, garantizando un total de 10 Kwh y con la capacidad de seguir conectando en un futuro otras baterías en la medida en que se incrementen los equipos electrodomésticos en cada una de las viviendas electrificadas. Es importante realizar este señalamiento pues el sistema de 6 KW instalado permitirá generar entre 25 KWh/día a 30 KWh/día, es decir más del doble de la capacidad de almacenamiento de las baterías, lo cual permitirá que los usuarios puedan consumir durante el día la mayor cantidad de energía en diversas actividades para que en la última hora y media se almacene la energía necesaria para el consumo nocturno. Se estima que se consume aproximadamente el 10% del almacenamiento y con la disponibilidad de la energía los usuarios podrán incrementar sus ingresos en aras de mejorar su calidad y nivel de vida, lo cual llevaría necesariamente a la adquisición de algunos equipos electrodomésticos tales como televisor, refrigerador, entre otros y consigo el aumento del consumo energético.

5.11. Instalación eléctrica de los hogares

Una vez concluida la etapa de implementación de los sistemas fotovoltaicos, se realizó el proceso de instalación eléctrica de cada una de las viviendas que se beneficiaran de las centrales teniendo en cuenta las normas de seguridad. A través del siguiente diagrama, podrán observar el diseño del sistema eléctrico interno de las viviendas.

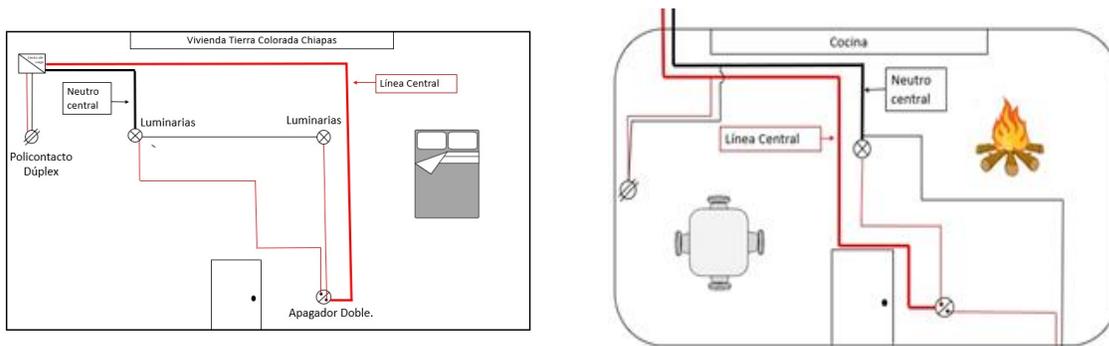


Figura 26 Diagrama del diseño del sistema eléctrico interno de las viviendas y su cocina.

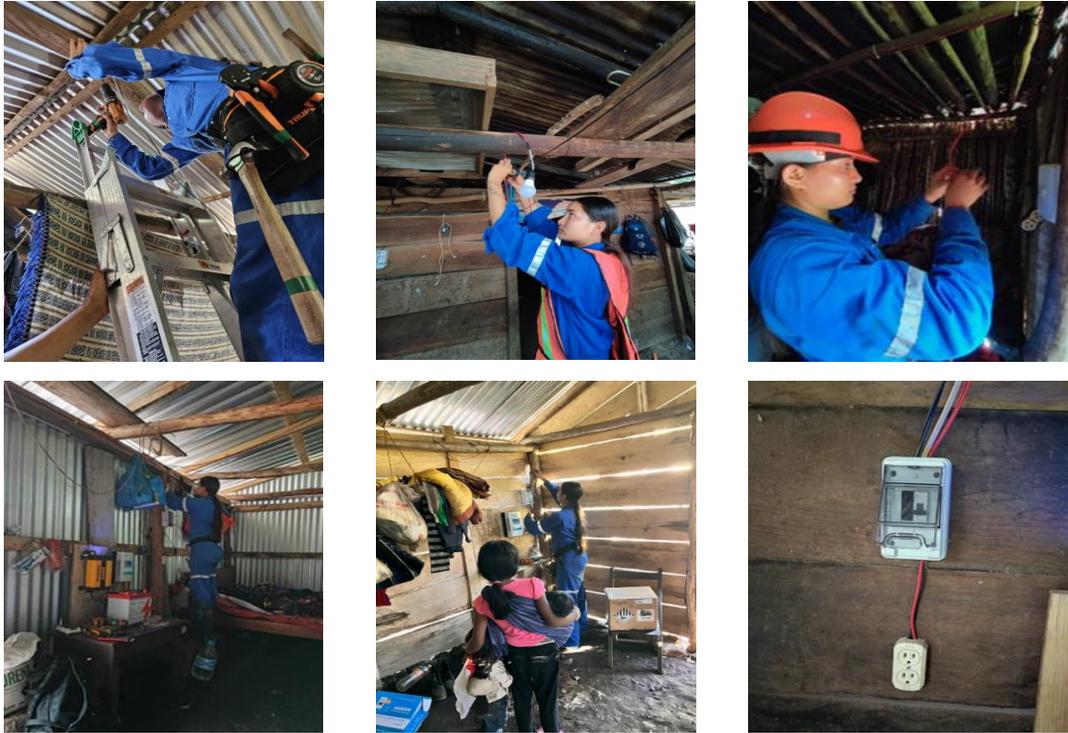


Figura 27 Proceso de instalación eléctrica de cada una de las viviendas con las centrales fotovoltaicas autónomas.

5.12. Redes de distribución de energía

Al concluir y determinar la instalación eléctrica de los hogares se realizó el diagrama de la red de distribución que transportara la energía de manera eficiente a las viviendas. En las siguientes imágenes se puede apreciar cómo se distribuyó la energía eléctrica.

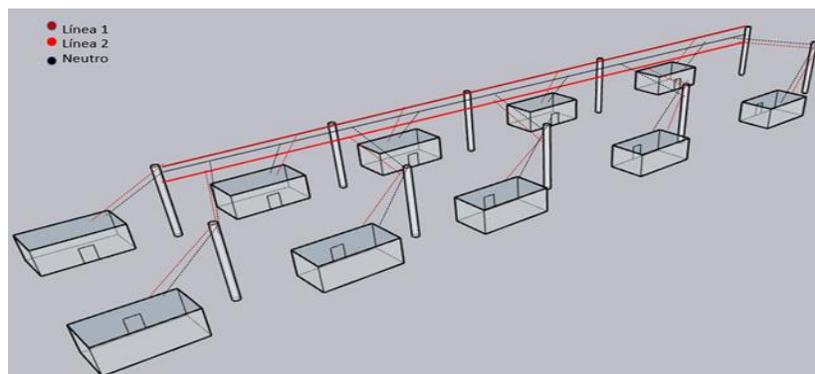


Figura 28 Red distribución de la energía eléctrica.



Figura 29 Postes de soporte de la red de distribución de la energía eléctrica en la comunidad.

5.13. Recomendaciones para uso y mantenimiento

Es importante cubrir aspectos que aseguren la durabilidad y la seguridad del sistema fotovoltaico. Es por eso que se creó una serie de pasos a seguir para inspeccionar y mantener en buen estado las centrales fotovoltaicas que se enlistan a continuación:

- Inspección regular de los paneles solares: en caso de que se detecte polvo, hojas u otros residuos, limpiar los paneles con agua evitando productos químicos.
- Limpieza de los módulos fotovoltaicos: es recomendable lavar los paneles solares temprano por la mañana o al final de la tarde para evitar choques térmicos.
- Sistema de cableado: asegurarse que los conectores MC4 estén en zonas sin humedad para evitar la corrosión.

Los sistemas fotovoltaicos implementados ya son una parte importante de la vida de las comunidades atendidas sobre el desarrollo de actividades culturales, deportivas y recreativas como ocurrió con Tierra Colorada, donde se viene realizando todo tipo de actividades con equipos de sonido, iluminación en espacios públicos y de uso comunitario como son iglesias y las escuelas en horas de la noche, así como las bebidas frías son productos de la energía suministrada por los sistemas energéticos implementados.



Figura 30 Comunidad de tierra colorada de noche con iluminación.

Como demuestran las imágenes anteriores se puede ver la comunidad de Tierra Colorada con las áreas deportivas e iluminación de exteriores, lo cual ha resultado un cambio significativo en el bienestar de la comunidad, sobre todo los jóvenes, pues no solo les permite hacer ejercicios para su desarrollo físico y mental después de sus jornadas de trabajo o estudio, sino también que afianza más las relaciones

sociales en la comunidad. Es importante señalar que en las comunidades beneficiadas se implementó una central fotovoltaica de 5.5 KW solamente para atender los objetivos sociales como iluminación de exteriores, escuelas, áreas deportivas y el centro social comunitario, todo ello en aras de lograr una mayor cohesión comunitaria y una mejor calidad de vida y bienestar de la comunidad.

5.14. Monitoreo de la producción de energía

Como fase final de este proyecto se hizo un monitoreo preliminar, a continuación se muestran los pasos que se hicieron para medir los parámetros claves que influyen en la generación de la energía.

Se verifico el consumo total de energía en la pantalla de uno de los inversores de las centrales fotovoltaicas el cual indica que el consumo es del 7.6% del total de la energía almacenada en las baterías como se muestra en la siguiente figura.



Figura 31 consumo de la energía almacenada.

Medición de la radiación solar: para monitorear este parámetro se utilizó un equipo de precisión especial llamado “SOLAR ENERGY RADIATION METERS SM206”

donde se obtuvo una radiación de 271.6 W/m^2 debido a que el día estaba nublado. La siguiente figura ilustra el proceso.



Figura 32 medición de la radiación solar.

Estado del banco de batería: se observó desde la pantalla del inversor las mediciones de voltajes de las baterías conectadas, para verificar la autonomía del sistema, este arrojó 53.4 V lo cual indica que está dentro del rango estimado del voltaje nominal de las baterías Growatt.



Figura 33 medición de voltaje en banco de baterías.

Temperatura de los paneles solares: para la evaluación de la temperatura de los módulos se utilizó un termopar (sensor de temperatura) el cual es un sensor confiable y preciso para mediciones de este tipo. El termopar fue colocado en contacto directo con la superficie del módulo como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 34 medición de la temperatura del panel solar.

Para que un módulo fotovoltaico funcione al 100% debe situarse en una temperatura optima entre los 20 y 25 grados. En la medición realizada se obtuvieron 35 °C donde se determina que el rendimiento del módulo se reduce ligeramente. Para obtener mediciones más precisas se deben realizar durante tiempos más prolongados.

5.15. Discusión de resultados

Es importante señalar que los sistemas fotovoltaicos se diseñaron en aras de atender no solo las necesidades de iluminación sino también que los sistemas a implementar tuvieran la potencia necesaria para garantizar la energización de una televisión, un pequeño refrigerador, ventilador, entre otros equipos electrodomésticos, a excepción de los equipos que contengan resistencias eléctricas, tales como planchas, hornos, cocinas eléctricas, todo ellos por el alto consumo que tienen y por otra parte solucionar el gran problema que hasta la fecha han presentado los sistemas fotovoltaicos autónomos que es su sistema de

almacenamiento, pues las baterías de plomo-ácido comúnmente utilizadas tienen una serie de dificultades tanto de funcionamiento como de impactos negativos al medio ambiente. En tal sentido se decidió utilizar las baterías de LiFePO₄ misma ofrecen una mayor densidad de energía, un ciclo de vida más largo, un tiempo de carga más rápido, una tasa de autodescarga más baja, una mayor durabilidad y menores requisitos de mantenimiento. Estas se caracterizan además por tener una durabilidad entre 10 a 15 años, es decir un ciclo de vida más largo, se pueden recargar más rápido, con una tasa de autodescarga más baja, lo cual es de vital importancia para lograr la verdadera aceptación de las tecnologías y la sostenibilidad en el tiempo.

Desde el punto de vista ambiental las baterías de LiFePO₄ no producen gases tóxicos, metales pesados contaminantes, ni tampoco requieren mantenimiento como las baterías de plomo-ácido, donde el suministro periódico de agua destilada para su funcionamiento adecuado no se realiza por parte de los usuarios.

Los sistemas centralizados o mini redes se diseñaron para implementarse en aquellos espacios con acumulación de viviendas relativamente cercanas, lo cual, para este tipo de situación y por la experiencia adquirida tiene mucha ventaja respecto a los sistemas independientes, pues al garantizar aproximadamente entre 450 a 650 Watts per cápita, todo ello en función de la agrupación de viviendas o nodos de la comunidad permitirá los siguientes beneficios:

- 1.- En primer lugar, que los sistemas no sean vendidos o robados por los mismos usuarios o vandalismo, ya que en este caso es propiedad de todos y no de nadie en particular.
- 2.- En segundo lugar, se puede contribuir de forma colectiva para garantizar cualquier gasto respecto al mantenimiento que tendrán estos sistemas cada cierto tiempo.

3.- Por último, también da la posibilidad de que en caso de fallar un nodo o mini red por alguna causa estos se puedan conectar a otros nodos de los que componen la red y consigo garantizar al menos la iluminación de la otra.

Recordemos que los datos iniciales nos indicaron que sólo el 10.2% de los hogares contaba con energía eléctrica, (sólo para iluminación), posteriormente a la implementación de los sistemas fotovoltaicos ahora el 100% de los hogares cuentan con energía es decir hubo un incremento del 89.8% con energía no sólo para iluminación sino también para refrigeración, entretenimiento y con energía sobrante para utilizarla en otros dispositivos que la gente adquirirá con el tiempo.

El monitoreo preliminar de las centrales fotovoltaicas indican una producción de energía de acorde a lo estipulado en el diseño, es decir se produce más energía de la que se consume, con esto podemos asegurar que la energía que se produce es suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de los 40 hogares, y también podemos asegurar que se produce la energía suficiente para que en un futuro con forme a las posibilidades económicas de los habitantes puedan adquirir dispositivos para cubrir sus necesidades de comunicación, entretenimiento y educación.

Con lo antes mencionado concluimos que el proyecto fue un éxito y que puede ser replicado en aras de contribuir al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible.

CONCLUSIONES

Se diseñaron e implementaron 4 centrales fotovoltaicas en la comunidad de Tierra Colorada; Chiapas, con capacidad de 5.5 kW instalados que generan 25.85 kw/h día cada una, los 4 sistemas generan una energía total de 103.4 KW/h por día y un total de 37, 741 Kw/h al año, energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de 40 viviendas y espacios públicos como lo son calles, cancha de basquetbol, dos centros religiosos y un centro comunitario.

Al utilizar las centrales se está dejando de emitir al medio ambiente según un cálculo realizado un total de 16.417 toneladas de CO² al año.

En visitas posteriores a la implementación se ha documentado un cambio positivo muy grande, puesto que ahora los niños estudian y juegan por las noches, las personas se sienten más seguras con la iluminación de los caminos y los adultos tienen tiempo de recreación al utilizar radios para escuchar música y televisión. Sin embargo se espera hacer estudios con mayor duración para determinar los impactos de las tecnologías a largo tiempo y más precisos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo investigaciones sobre el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos en periodos prolongados para garantizar su óptimo funcionamiento y para determinar el grado de aceptación de la tecnología.

TRABAJOS A FUTURO

- Evaluación en condiciones reales de operación en periodos largos
- Implementación de equipos de monitoreo remoto
- Evaluación de la producción y consumo de energía de manera remota

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Energía de México. (2023). *Reporte de energías renovables en México: Potencial y desafíos*. Ciudad de México: Ministerio de Energía.
- [2] Ohl, R., Bardeen, J., Brattain, W., & Shockley, W. (s.f.). *Antiguos diodos y transistores con diferentes encapsulados*. Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://gredos.usal.es>
- [3] Velasco, J. G. (2024). *Energía solar: dispositivos fotovoltaicos de futuro*. Encuentros Multidisciplinares. Recuperado de <https://encuentros-multidisciplinares.org>
- [4] Guardado, R. M. L. (2023). *Caracterización de dispositivos capacitivos para aplicación en celdas solares no convencionales*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Recuperado de <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx>
- [5] Green, M. A., & Yoon, H. (2019). *Advances in Photovoltaics: A review of current technologies and prospects for the future*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.026>
- [6] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *The cost competitiveness of solar energy*. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021_Summary.pdf
- [7] Jiménez, F., & Rodríguez, A. (2020). *Sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales: Un análisis costo-beneficio*. *Energy Policy*, 45(2), 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.06.013>
- [8] Trejos Vanegas, A. S., & Bejarano Díaz, A. A. (s.f.). *Diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica solar fotovoltaica para una línea de electrolineras que conecte dos regiones del país*. Universidad Santo Tomás. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co>
- [9] Jiménez, F., & Rodríguez, A. (2020). *Sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales: Un análisis costo-beneficio*. *Energy Policy*, 45(2), 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.06.013>

[10] J. Jiménez, "Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para aires acondicionados en CECyTE Chiapas plantel 34", 2022. Universidad De Ciencias Y Artes De Chiapas.

[11] Gonzales Moya, J. L. (2024). *distribución con equidad de la tarifa dignidad de energía eléctrica en la población de bajos recursos* (Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú).

[12] García, A. (Ed.). (2018). *Manual de políticas públicas en México (2a ed.)*. UNAM. <https://ciid.politicas.unam.mx/www/libros/9786073085564.pdf>

[13] Espinosa Suárez, M. A. (2020). *Metodología para implementar proyectos de energía renovable comunitaria menores a 0.5 MW en el estado de Oaxaca (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco)*.

[14] El Orbe. (2024). *Urge brindar mayor electrificación para las zonas rurales de Chiapas*. Periódico El Orbe. <https://elorbe.com/seccion-politica/estatal/urge-brindar-mayor-electrificacion-para-las-zonas-rurales-de-chiapas.html>

[15] Banco Mundial. (2024). *Comunidades rurales alejadas de la red eléctrica logran acceso a electricidad en México*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2024/08/09/mexico-rural-electrification>

[16] González Estrada, A. (2014). *Propuesta de mejoramiento en el aprovechamiento de energía solar mediante paneles fotovoltaicos (Tesis de Ingeniería Civil)*. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

[17] Gómez-Hernández, D. F., Domenech, B., Moreira, J., Farrera, N., & López-González, A. (2019). *Comparative evaluation of rural electrification project plans: A case study in Mexico*. *Energy Policy*, 129, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.004>.

[18] Ruiz Sibaja, J. A., & Guillén Trujillo, H. A. (2012). *Evaluación de paneles solares implementados en los municipios de Yajalón y Soyaló del estado de Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas.

[19] Latorre Izquierdo, L. A., & Barco Ortega, J. D. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la comunidad Masa 2 (Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil)*.

[20] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018, septiembre 24). Energías renovables, gran oportunidad para México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/energias-renovables-gran-oportunidad-para-mexico-172759>

[21] Frías Martínez, T. Y. (2012). *Colector térmico fotovoltaico interconectado a la red* (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional).

[22] Agencia Estatal de Meteorología. (n.d.). Radiación solar. Agencia Estatal de Meteorología. https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf

[23] EDP Energía. (n.d.). Irradiación solar. EDP Energía. <https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/irradiacion-solar/>

[24] SotySolar. (n.d.). Irradiación solar. SotySolar. <https://sotysolar.es/blog/irradiacion-solar>

[25] UNAM. (2011). *Energía Solar Disponible*. Recuperado el 10 de octubre de 2024 de https://solarimetrico.geofisica.unam.mx/docs/solarimetrico_metodologia.pdf

[26] Blas Martínez, D. (2011). *Energía solar fotovoltaica: Instalación de paneles fotovoltaicos en Bosal S.A.* (Proyecto fin de carrera, Ingeniería Técnica Industrial, Electrónica). Director: M. Á. Torres.

[27] Enel Green Power. (s.f.). *Ventajas de la energía solar: Energía renovable, eficiente y sostenible*. Enel Green Power. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/ventajas-energia-solar>

[28] Flores Leonar, M. M. (2018). *Efecto Fotoeléctrico*. Facultad de Química, UNAM.

[29] Green, M. A. et al, *Solar cell efficiency tables (version 49)*. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 25: 3–13

[30] Saint André, S. (2017). *Caracterización y fabricación de celdas solares basadas en compuestos III-V para aplicaciones espaciales*. [Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca Digital FCENUBA. <https://digital.blahblah>

[31] Higuera Valenzuela, H. J. (n. d.). ¿Cómo funcionan las celdas solares? ¿Y cómo mejorar su funcionamiento? Universidad de Sonora.

[32] Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education, "The Element Silicon." [Online]. Available: <https://education.jlab.org/itselemental/ele014.html>.

[33] B. S. Richards, "Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 90, no. 15, pp. 2329–2337, 2006.

[34] De Melo, O., Santana-Rodríguez, G., López-López, M., Aguilar-Hernández, J., de Moure, F., Mendoza-Pérez, R., Zamora-Peredo, L., & Contreras-Puente, G. (2015). Hilando fino: Celdas solares y nanohilos. *Revista de Energía Eficiente*, 8, 10-20.

[35] Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2015). Solar cell efficiency tables (version 45). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23(1), 1-9. <https://doi.org/10.1002/pip.2573>

[36] Rüther, R., & Zilles, R. (2018). Photovoltaics in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.106>

[37] Rahman, M. M., Amin, N., Zaini, N. H., & Aliyu, M. (2016). Recent advances in the development of high-efficiency commercial polycrystalline silicon solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 418-430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.080>

[38] Jäger-Waldau, A. (2019). PV Status Report 2019. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/326629>

[39] Bagnall, D. M., & Boreland, M. (2008). Photovoltaic technologies. *Energy Policy*, 36(12), 4390-4396. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.070>

[40] Características de las baterías LiFePO4 <https://www.kuantica-hst.com/caracteristicas-baterias-linadium/>

[41] Módulo-4-Inversores-reguladores-baterías (s.f.). Recuperado de <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wpcontent/uploads/sites/27/2019/12/M%C3%B3dulo-4-Inversores-reguladores-bater%C3%ADas.pdf>

Anexos

Ficha técnica del inversor

Datasheet	SPF 4KT HVM	SPF 5KT HVM	SPF 6KT HVM	SPF 8KT HVM	SPF 10KT HVM	SPF 12KT HVM
Battery Voltage	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC
Battery type	Lithium/Lead-acid	Lithium/Lead-acid	Lithium/Lead-acid	Lithium/Lead-acid	Lithium/Lead-acid	Lithium/Lead-acid
INVERTER OUTPUT						
Rated Power	4KW	5KW	6KW	8KW	10KW	12KW
Surge Rating	12KW	15KW	18KW	24KW	30KW	36KW
Waveform	Pure sine wave/ same as input(bypass mode)					
Nominal Output Voltage RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)					
Output Frequency	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz					
Inverter Efficiency(Peak)	>85%			>88%		
Line Mode Efficiency	>95%					
Power Factor	1.0					
Transfer Time	10ms typical , 20ms Max					
SOLAR CHARGER						
Maximum PV Charge Current	80A			120A		
Maximum PV Array Power	5000W			7000W		
Number of independent MPP trackers/ strings per MPP tracker	1/1			2/1		
MPPPT Range @ Operating Voltage	60-145VDC					
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	150VDC					
Maximum Efficiency	>98%					
AC INPUT						
Voltage	230VAC					
Selectable Voltage Range	154-272VAC(for appliances);184-272VAC(for UPS)					
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)					
Maximum Charge Current	40A	50A	60A	70A	80A	100A
MECHANICAL SPECIFICATIONS						
Protection Degree	IP20					
Dimensions (W/H/D)	360/540/218mm			380/650/255mm		
Net Weight (Solar CHG) kg	38	41	45	64	66	75
OPERATING ENVIRONMENT						
Operation Temperature Range	0°C to 45°C					

Ficha técnica de las baterías

Hoja de datos	AXE 5.0L	AXE 10.0L	AXE 15.0L	AXE 20.0L	AXE 25.0L	AXE 30.0L	AXE 35.0L	AXE 40.0L	AXE 45.0L	AXE 50.0L
Demostración del sistema										
Módulo de batería	AXE 5.0L - C1 (5.0kWh, 51.2V, 45kg)									
Número de módulos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacidad de energía	5.0kWh	10.0kWh	15.0kWh	20.0kWh	25.0kWh	30.0kWh	35.0kWh	40.0kWh	45.0kWh	50.0kWh
Dimensiones	650x350x165mm	650x350x305mm	650x350x445mm	650x350x585mm	650x350x725mm	650x350x865mm	650x350x1005mm	650x350x1145mm	650x350x1285mm	650x350x1425mm
Peso	47kg	92kg	137kg	182kg	227kg	272kg	317kg	362kg	407kg	452kg
Corriente de carga/descarga máx.	60A	120A	150A	150A	150A	150A	150A	150A	150A	150A
Potencia máxima de carga/descarga	3kW	6kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW	7.5kW
General										
Tipo de batería	Litio Ferrofosfato libre de cobalto									
Voltaje nominal	51.2V									
Voltaje de operación	48 - 57.6V									
Protección ambiental	IP20									
Instalación	Instalación sobre base									
Temperatura de operación	0-50°C									
Características										
DoD	92%									
Toros de baterías en paralelo	Máx. 8 toros de baterías en paralelo (Máx. 400kWh)									
Parámetros de monitoreo BMS	SOC, voltaje del sistema, corriente, voltaje de celda, temperatura de la celda, medición de la temperatura del PCBA									
Puerto de comunicación	CAN/RS485									
Garantía: 5 años/ 10 años	S/opcional									
Certificaciones										
CE, ROHS, UL1973+FCC, UN38.3+PI965										

*1 La dimensión del sistema se incluye con la base de la batería

*2 La instalación en el suelo requiere una base adicional (W/D/H=654/353/25mm)

* La batería de la serie AXE tiene un modelo UE y un modelo General, los inversores de almacenamiento vendidos en los países europeos sólo funcionan con la batería AXE modelo UE.

Ficha técnica del medidor de radiación solar

Medidores de radiaciones de energía solar SM-206 Di. Meter catalogo ingles
www.viaindustrial.com

Medidor de radiaciones de energía solar
Di. Meter SM-206



SOLAR ENERGY RADIATION METERS

REFERENCE: SM-206

Range	1-3999 W/m ² [btu]
Resolution	0.1 W/m ²
Accuracy	±5% of reading
Functions	Memory peak, freezing reading
Features	LCD display
Power	9 VDC Battery

Medidores de radiaciones de energía solar SM-206 Di. Meter catalogo ingles
www.viaindustrial.com

Medidores de radiaciones de energía solar SM-206 Di. Meter catalogo ingles
www.viaindustrial.com

Medidor de radiaciones de energía solar
Di. Meter SM-206

DESCRIPTION:
Located a meter radiation Solar Digital?

Meter portable digital solar (model SM206), a precision instrument for measurement of the radiation solar and other applications where solar energy is important. Measures directly no need for adjustments. Perfect for the owners, technicians and engineers.

Specification:

Di. Meter Power Meter SM206: digital solar and solar radiation Pyrometer East Metro solar is an precision instrument for measurement of the solar radiation. Is used measurement of radiation solar, research solar experiments physical and optics, metrology, and agriculture. Also can be used for measure the intensity of light glass to verify Properties

Brief specifications

Error range	± 10 W / m ² [± 3 Btu / (ft ² ·h)] or ± 5% of the measured value
Screen	1 0. 388W / m ² [± 0.112 Btu / (ft ² ·h)] / °C] deviation to 25 °C
Turn	3-1/4LCD maximum sample value numeric 3999
Screen Overload	< ± 3% / year
Sampling time	0.1 to 399.9 W / m ² , 1-3999 W / m ² , 0.1 to 399.9 Btu / (ft ² ·h), 1-3999 Btu / (ft ² ·h)
Operating temperature and humidity	0-250° (line)
Storage temperature and humidity	-22 °C to 60 °C < 70% RH
Dimensions and weight	132 (L) x 60 (W) x 38 (H) mm
Weight	approx. 150 g
Autonomy operation	Approx. 100 hours

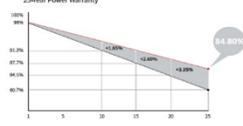
Medidores de radiaciones de energía solar SM-206 Di. Meter catalogo ingles
www.viaindustrial.com

Hi-MO 5⁺ LR5-72HPH 540~560M

21.7% MAXIMUM EFFICIENCY **0~3% POWER TOLERANCE** **<2% HOT SPOT POWER DEGRADATION** **0.55% POWER DEGRADATION** **HALF-CELL Lower operating temperature**

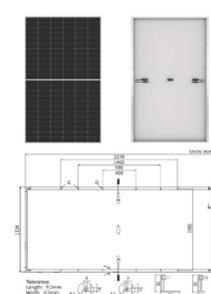
Additional Value

25-Year Power Warranty



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (8x24)
Junction Box	IP68, Enclosures
Output Cable	4mm ² x 600-200mm
Connector	Length can be customized
Glass	LOW-IRON LGS or MC4 EVO2
Frame	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Weight	Anodized aluminum alloy frame
Dimension	22.7kg
Packaging	2218x1124x39mm
	33pcs per pallet / 1350pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC



Electrical Characteristics

Module Type	STC (AM1.5, 1000W/m ² , 20°C)		NOCT (AM1.5, 800W/m ² , 20°C, 2m/s)		STC (AM1.5, 1000W/m ² , 20°C)		STC (AM1.5, 1000W/m ² , 20°C)	
	LR5-72HPH-540M	LR5-72HPH-560M	LR5-72HPH-540M	LR5-72HPH-560M	LR5-72HPH-540M	LR5-72HPH-560M	LR5-72HPH-540M	LR5-72HPH-560M
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	540	403.6	545	407.4	509	433.1	550	454.9
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	49.50	46.54	49.65	46.68	49.89	46.82	49.95	46.97
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	11.80	11.20	11.90	11.25	11.98	11.31	14.04	11.36
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	41.65	38.69	41.80	38.83	41.95	38.97	42.10	39.11
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	12.97	10.43	13.04	10.49	13.12	10.56	13.19	10.61
Module Efficiency (%)	20.9	21.1	21.3	21.3	21.3	21.3	21.5	21.7

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ 85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
Voc and Isc Tolerance	± 3%
Maximum System Voltage	DC1000V (IEC616)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	49.5 °C
Protection Class	Class C
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.059%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.259%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.349%/°C

LONGI

Floor 28, Lujiazui Financial Plaza, Century Avenue
850, Pudong Shanghai, China
Tel: +86-21-60182096
Web: www.longi.com

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. LONGI reserves the right of final interpretation. 020224031012 E2

Ficha técnica del panel solar