



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

**DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA
DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA
ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS**

Jaime Eduardo Mercar Chonay

Asesorado por el Ing. Marco Fabio Gudiel Sandoval

Guatemala, enero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA
DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA
ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAIME EDUARDO MERCAR CHONAY
ASESORADO POR EL ING. MARCO FABIO GUDIEL SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha octubre de 2011.


Jaime Eduardo Mercar Chonay

Guatemala, 02 de mayo de 2012

Ingeniero
Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor Unidad de EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Ingeniero Requena:


Por medio de la presente, envío a usted el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), titulado: DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA, CHAJUL, EJECUTADO PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS.

Este trabajo fué desarrollado por el estudiante: **Jaime Eduardo Mercar Chonay**, quien fue asesorado por el suscrito.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me es grato suscribirme.

Atentamente,


Ing. Marco Fabio Gudiel Sandoval
Colegiado No. 7,089
Asesor


Marco Fabio Gudiel Sandoval
Ingeniero Electricista
Col. 7089



Ref. EIME 49.2012.

Guatemala, 25 de SEPTIEMBRE 2012.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**“DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR
DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO
PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE
COMUNIDADES MAYAS”,** del estudiante Jaime Eduardo
Mercar Chonay, que cumple con los requisitos establecidos para tal
fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
D Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia

FJGL/ST





Guatemala, 16 de octubre de 2012.
Ref.EPS.D.850.10.12.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

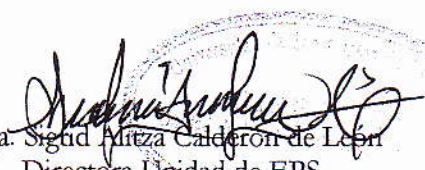
Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS**" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jaime Eduardo Mercar Chonay**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Marco Fabio Gudiel Sandoval y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Sigrid Mitzá Calderón de León
Directora Unidad de EPS

SACdL/ra



REF. EIME 55.2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JAIME EDUARDO MERCAR CHONAY titulado: "DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS", procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 17 DE OCTUBRE 2012.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 020.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DOCUMENTACIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMUNIDAD SANTA CLARA CHAJUL, EJECUTADO PARA ADECOM: ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES MAYAS**, presentado por el estudiante universitario **Jaime Eduardo Mercar Chonay**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 24 de enero de 2013.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	¡Gracias Dios mío! Por tu infinita compañía y por el éxito obtenido.
Mi madre	Claudia Chonay Tepaz, que este mérito es a su honra.
Mi padre	Lorenzo Mercar Tamat, por todos los momentos tan especiales en los que me brindo su amor, por el enorme sacrificio hecho para sacarme adelante, por todo el apoyo; moral, económico y por la instrucción y enseñanza para guiarme por el buen camino y el temor a Dios.
Mis hermanos	Vilma, Mynor, Mario, Edwin, Alicia. Gracias por todo su apoyo incondicional que siempre me brindaron.
Mis abuelos, tíos y primos	Gracias por su apoyo.
Mi asesor	Ing. Marco Fabio Gudiel Sandoval, por sus consejos oportunos.
La Facultad de Ingeniería	Por lograr formarme como profesional.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

¡Mil gracias por los conocimientos, que me permiten
alcanzar este éxito en mi vida!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES DE ADECOM Y DE LA COMUNIDAD DE SANTA CLARA	1
1.1. Historia de la Comunidad de Santa Clara narrada por los pobladores.....	1
1.1.1. La comunidad de Santa Clara, según Gregorio Cuyuch	2
1.2. Cobertura eléctrica del departamento de Quiché	3
1.3. ADECOM como organización.....	6
1.3.1. Naturaleza	6
1.3.2. Organización.....	6
1.3.3. Ubicación	7
1.3.4. Misión	7
1.3.5. Visión.....	7
1.3.6. Estructura organizacional	7
1.3.7. Áreas de proyección	8
1.3.8. Programas	9

2.	DIAGNÓSTICO DE INSTALACIONES DE LOS SISTEMAS FOTVOLTAICOS EN LA COMUNIDAD DE SANTA CLARA.....	11
2.1.	Antecedentes de los equipos del sistema fotovoltaico de la comunidad de Santa Clara, Chajul, Quiché.....	11
2.2.	Metodología de evaluación.....	12
2.3.	Actividades realizadas.....	13
2.4.	Identificación de los equipos instalados	14
2.5.	Resultados de la evaluación.....	15
2.6.	Costo estimado para rehabilitar los sistemas evaluados.....	19
3.	GENERALIDADES DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CON ENERGÍA SOLAR	21
3.1.	¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	21
3.2.	Partes que conforman un sistema de generación fotovoltaico	22
3.3.	Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.....	37
3.3.1.	¿Cuándo utilizar un sistema fotovoltaico en el área rural?	41
3.4.	Costos de equipos, operación y mantenimiento	42
3.5.	Aspectos ambientales en un sistema de generación.....	46
3.6.	Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico	49
3.7.	Experiencia de la energía solar en Guatemala.....	51
3.7.1.	Equipo de medición de radiación solar en regiones de Guatemala	53
3.8.	Identificación de equipo en la comunidad de Santa Clara.....	57
3.8.1.	Panel o módulo solar	57
3.8.2.	Batería	58
3.8.3.	Regulador o controlador de carga	60
3.8.4.	Inversor.....	61

3.8.5.	Iluminación y otras cargas	62
3.8.6.	Evaluación y estado de las instalaciones en general.....	63
3.8.7.	Elaboración de esquema del sistema eléctrico actual	64
3.8.8.	Recomendaciones para correcciones básicas en el sistema.....	66
4.	DIMENSIONAMIENTO Y PROPUESTA DEL USO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL ÁREA RURAL	67
4.1.	Requisitos de una instalación eléctrica.....	67
4.2.	Ubicación de cargas en una vivienda	68
4.3.	Radiación solar para dimensionamiento de un sistema fotovoltaico	69
4.4.	Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo.....	71
4.4.1.	Consideraciones previas	74
4.4.2.	Estimaciones de los consumos.....	76
4.4.3.	Estimación de la capacidad de la batería	78
4.4.4.	Cálculo de la potencia nominal del generador fotovoltaico.....	79
4.4.5.	Otras consideraciones	82
4.4.6.	Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento fotovoltaico.....	84
4.5.	Usos del sistema fotovoltaico en la comunidad rural.....	86
4.6.	Requerimientos de los nuevos equipos	88

5.	DOCUMENTACIÓN DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	93
5.1.	Operación general de un sistema fotovoltaico.....	93
5.2.	Definición de mantenimiento	94
5.2.1.	¿Por qué se debe realizar el mantenimiento?	94
5.2.2.	¿Qué ventajas tiene el mantenimiento?	94
5.3.	Mantenimiento preventivo	96
5.4.	Mantenimiento correctivo	96
5.5.	Mantenimiento predictivo.....	96
5.6.	Instructivo de capacitación para las personas en sus viviendas	97
5.6.1.	Uso y cuidado del sistema fotovoltaico.....	97
5.6.1.1.	Módulo o panel solar	98
5.6.1.2.	Batería	101
5.6.1.3.	Regulador o controlador de carga	108
5.6.1.4.	Inversores.....	110
5.6.2.	Precauciones y recomendaciones.....	113
5.6.2.1.	Se recomienda	113
5.6.2.2.	Seguridad y precauciones	114
5.6.2.3.	Equipos eléctricos apropiados.....	116
5.7.	Ficha de mantenimiento de los equipos fotovoltaicos	117
	CONCLUSIONES.....	119
	RECOMENDACIONES.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de cobertura eléctrica, año dos mil diez Quiché.....	5
2.	Estructura organizacional de ADECOM	8
3.	Esquema de un sistema fotovoltaico en una vivienda.....	23
4.	Módulos fotovoltaicos típicos y su estructura de soporte	24
5.	Batería típica para aplicaciones fotovoltaicas	29
6.	Vista de un controlador o regulador de carga	33
7.	Inversor	35
8.	Costo inicial total de un sistema fotovoltaico rural.....	43
9.	Costos totales de un sistema fotovoltaico rural	45
10.	Mapa de los departamentos donde varias comunidades cuentan con un sistemas fotovoltaicos.....	52
11.	Mapa de radiación global solar de Guatemala	54
12.	Ventana de inicio del programa o herramienta SWERA.....	55
13.	Sensor de radiación solar (Piranómetro) – NRG Systems	56
14.	Esquema eléctrico de una vivienda del área rural.....	65
15.	Esquema de cargas que soporta un sistema de 50 vatios	68
16.	Instalación correcta e incorrecta de los paneles	98
17.	Mantener libre la incidencia del sol sobre los paneles	99
18.	Limpieza del módulo o panel.....	100
19.	Tipos de polos o terminales de baterías.....	102
20.	Evitar las descargas demasiado profundas	104
21.	Mantenimiento interno solo a baterías no selladas	104
22.	No utilizar baterías de automóviles	105

23.	Controlador típico en las viviendas de Santa Clara.....	110
24.	Utilizar inversores para aplicaciones en sistemas fotovoltaico.....	111
25.	Conectar al inversor únicamente los aparatos para el cual fue diseñado el sistema	112
26.	Ficha de mantenimiento para el sistema FV.....	118

TABLAS

I.	Índice de cobertura eléctrica	4
II.	Resumen de evaluación de sistemas fotovoltaicos.....	19
III.	Costo estimado para rehabilitar los sistemas fotovoltaicos.....	20
IV.	Costo estimado para un sistema fotovoltaico.....	46
V.	Características técnicas de un módulo fotovoltaico	57
VI.	Características técnicas de batería	59
VII.	Características del controlador de carga.....	61
VIII.	Características técnicas de los inversores utilizados	62
IX.	Estimación del número de días de autonomía, N.....	75
X.	Estimación de consumos para algunas cargas típicas.....	78
XI.	Datos de consumo medios diarios en DC y AC	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
A-h	Amperios hora
β	Ángulo de inclinación del módulo respecto la horizontal
L_{cc}	Carga diaria en corriente continúa
L_{ca}	Carga diaria en corriente alterna
B *	Capacidad de la batería
CB	Capacidad de acumulación
ISC	Corriente de corto circuito (<i>Short-circuit Current</i>)
I_R	Corriente del regulador
I_m	Corriente a potencia máxima
CC	Corriente continua o directa
CA	Corriente alterna
B_o	Constante solar
LVD	Desconexión por bajo voltaje
N	Días de autonomía
L*	Energía real necesaria
η	Eficiencia
FV	Fotovoltaico
°C	Grados centígrados
HSP	Horas de sol pico
kW	Kilo vatios o kilo watts
kWh/m²	Kilo watts hora por metro cuadrado

NBs	Número de baterías en serie
Nms	Número de módulos en serie
Nmp	Número de módulos en paralelo
%	Porcentaje
PLL	Probabilidad de pérdida de carga (<i>Loss of Load probability</i>)
DOD	Profundidad máxima de descarga
η_c	Pérdidas en los cables
Q	Quetzales
G	Radiación global
B	Radiación directa
D	Radiación difusa
R	Radiación reflejada
G_{dm}	Radiación media mensual
W	Vatios o watts
W_{sp}	Vatios pico o watts pico
W/m²	Vatios por metro cuadrado
Wh	Vatios hora
V_{sn}	Voltaje o tensión nominal
V_{dc}	Voltaje en corriente directa
V_{ac}	Voltaje en corriente alterna
V_{oc}	Voltaje de circuito abierto (<i>Open-Circuit voltaje</i>)

GLOSARIO

Amperio	Unidad de medida de la corriente eléctrica en el sistema internacional de unidades, se representa con el símbolo A.
Celda solar	Dispositivo que convierte la energía de la luz en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión.
Corriente eléctrica	Circulación de cargas o electrones a través de un circuito eléctrico cerrado, su unidad de medida es el amperio.
Días de autonomía	Días durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación sin generación fotovoltaica (con radiación solar nula).
Efecto fotovoltaico	Proceso mediante el cual una celda solar convierte luz solar en electricidad.
Irradiancia	Magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética, en unidades del sistema internacional.

Irradiación	Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.
HSP	Horas de sol pico, entendido como el número de horas de sol, en media diaria a una radiación de 1000 vatios/m ² . Es equivalente a la energía total diaria incidente sobre una superficie horizontal en kWh/ m ² /día.
MEM	Ministerio de Energía y Minas
Radiación solar	Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

RESUMEN

El interés de estudiar los sistemas de generación de energía eléctrica con fuentes renovables, dentro del cual destacan los sistemas fotovoltaicos (Fotovoltaico), se ha ido incrementando, dado que contribuyen a reducir la utilización de otras tecnologías de generación que utilicen combustibles fósiles.

En el presente trabajo de graduación se realiza un estudio del estado actual de las instalaciones eléctricas del sistema fotovoltaico autónomo, que le suministra energía eléctrica a las viviendas de la comunidad de Santa Clara, municipio de Chajul, Quiché, Guatemala. Dicho análisis incluye una recopilación de información respecto de las características y estado de los elementos que componen la instalación.

En el capítulo 1 se presenta el estado actual de las instalaciones eléctricas de iluminación de la comunidad de Santa Clara. El capítulo 2 describe los resultados de evaluación y el estado actual del sistema fotovoltaico, también se muestran los costos aproximados para rehabilitar el sistema. El capítulo 3 hace mención de las generalidades del funcionamiento de las componentes de un sistema fotovoltaico. En el capítulo 4 se describe el dimensionamiento y se dan propuestas de los uso productivos del sistema fotovoltaico en el área rural. Finalmente en el capítulo 5 se elabora el manual de operación y mantenimiento que permitirá tener un sistema eléctrico eficiente y seguro, que además prolongará su vida útil.

OBJETIVOS

General

Elaborar el Manual de operación y mantenimiento para el sistema Fotovoltaico que le suministra energía eléctrica para iluminación a los hogares de la comunidad de Santa Clara del municipio de Chajul, departamento de Quiché.

Específicos

1. Diagnosticar y evaluar las instalaciones eléctricas de los sistemas fotovoltaicos de la comunidad de Santa Clara, Chajul, Quiché.
2. Proveer a la comunidad de Santa Clara, la documentación de los equipos fotovoltaicos y el manual de operación y mantenimiento.
3. Realizar las propuestas del uso productivo que se le puede dar a un sistema fotovoltaico en el área rural.
4. Determinar y presentar las soluciones a los problemas que se podrían encontrar al realizar el estudio eléctrico del sistema fotovoltaico.

5. Evaluar la posibilidad económica de reactivar los sistemas en mal funcionamiento, además de identificar los costos de la inversión inicial, operación y mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Un sistema autónomo fotovoltaico para generar energía eléctrica es uno de los principales elementos en una vivienda rural, es por eso que se desea aprovechar al máximo todos los beneficios que proporciona para alcanzar el mejor rendimiento y seguridad para todo el que utiliza la instalación.

Actualmente, la necesidad de conectar aparatos eléctricos en una instalación eléctrica a aumentado constantemente, para cubrir las necesidades básicas de la población de Santa Clara, lo cual ha provocado que las instalaciones se sobrecarguen y dañen algunos equipos que componen la generación de energía eléctrica; además es necesario un buen mantenimiento constante para mantener en optimas condiciones toda la instalación eléctrica.

Es importante reconocer que las instalaciones que actualmente funcionan en la comunidad de Santa Clara, son las que fueron diseñadas únicamente para iluminación desde el inicio de su operación y que además no han sido modificadas, por lo que en muchas de las instalaciones eléctricas existentes es necesario un rediseño.

En este trabajo de graduación se presenta los principales componentes y su funcionamiento de un sistema autónomo fotovoltaico de generación de energía eléctrica, además se documenta el estado actual de las instalaciones eléctricas, como también se elabora el manual de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico, que permitirá tener un sistema eléctrico eficiente y seguro, que además prolongará su vida útil de todo el sistema fotovoltaico.

1. ANTECEDENTES DE ADECOM Y DE LA COMUNIDAD DE SANTA CLARA

1.1. Historia de la comunidad de Santa Clara narrada por los pobladores

Santa Clara, es una comunidad del municipio de Chajul que se ubica al norte del departamento de Quiché, es reconocida como una de las Comunidades de Población en Resistencia (CPR).

Las CPR se empezaron a organizar en 1982 como una forma de defenderse de la política de tierra arrasada y el genocidio del ejército en el país; en 1990 se dieron a conocer públicamente como CPR.

En 1991 fueron visitados por la Comisión Multipuntito (ONG'S internacionales). En 1996 se reconocieron sus derechos como una población civil, en ese mismo año se firman los Acuerdos de Paz de negociación entre Gobierno y la Unidad Revolucionaria Nacional de Guatemala (URNG). En 1997, FONAPAZ, Gobierno y la CPR firmaron el acuerdo de adquisición de tierras y desarrollo de actividades productivas. En 1998, bloques de población de la CPR fueron trasladados a nuevos asentamientos, fincas y tierras de origen, es así como quedó la población de las CPR al norte y sur de las montañas del municipio de Chajul.

1.1.1. La comunidad de Santa Clara, según Gregorio Cuyuch

Santa Clara es una aldea del municipio de Chajul del departamento de Quiché, es una comunidad que se dedica a la agricultura, siembra de maíz, frijol, algunas frutas para consumo propio y un poco de café y cardamomo para su economía. Las viviendas son todas muy parecidas, pequeñas de madera y de lámina, muy cerca del techo se puede observar un panel solar para iluminación domiciliar.

Los habitantes de Santa Clara aún se reconocen como Población en Resistencia de la Sierra o como una Comunidad de Población en Resistencia (CPR), nombre que adoptaron oficialmente en 1990.

Andrés Cabanas, en su libro “Los Sueños Perseguidos”, narra cómo las CPR sufrieron, además de agresiones y asesinatos, el ataque masivo y planificado a la infraestructura de sus comunidades, la destrucción continua de sus siembras, la quema o robo de sus cosechas y la prohibición de parte del ejército para poder comerciar y circular libremente por el área.

Ellos tuvieron que abandonar sus casas, renunciar al espacio físico que demarcaba su historia, dejar sus pocas pertenencias, para convertirse en nómadas y huir de la represión estatal.

A principios de los ochentas, la cifra de desplazados alcanzó el millón de personas. La mayoría no tenía ningún nexo con la guerrilla, pero viajaba igual que ellos por las montañas para huir del ejército, para huir de las filas de soldados con rifles en retaguardia que marchaban tras ellos.

Tanto vagar y sobrevivir en un ambiente hostil formó las bases de una sociedad solidaria, disciplinada, ordenada y con objetivos comunes muy claros.

Gregorio Cuyuch Batén uno de los pobladores, rememora la historia de la comunidad desde 1955 y el proceso que han llevado desde ese año para lograr tener los títulos de sus tierras en orden y finalmente en 1992 empezar su reintegración a la sociedad guatemalteca. “Luchamos para poder integrarnos nuevamente, para que el gobierno reconociera que somos una población civil y que tenemos el mismo derecho que todos los guatemaltecos”, comenta.

Un primer paso fue gestionar que el gobierno comprara 197 caballerías para 4 comunidades. Luego, consiguieron una pequeña donación de ganado que no sirvió para modificar su economía, que aún se basa en la agricultura de subsistencia.

En 2001, los habitantes organizados de Santa Clara contactaron a varias entidades para que los ayudaran a tener acceso a la energía eléctrica. Por lo remoto de su aldea, sabían que era imposible conseguir el posteo eléctrico, así fue como negociaron la donación de paneles solares que actualmente utilizan para electrificar sus hogares.

1.2. Cobertura eléctrica del departamento de Quiché

El departamento de Quiché se ubica al norte de la capital de Guatemala, la cabecera departamental es Santa Cruz del Quiché y se encuentra a 164 kilómetros aproximadamente de la ciudad capital de Guatemala. La cobertura eléctrica del departamento de Quiché durante el 2010, según datos de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, es del 70 por ciento a nivel departamental.

La cobertura eléctrica del departamento de Quiché durante el 2010, según datos de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, es del 70 por ciento a nivel departamental.

En la tabla número I, se muestra el índice de cobertura eléctrica a nivel municipal para el departamento de Quiché, en la que se observa que el municipio que cuenta con la menor cobertura eléctrica, es el municipio de Chajul, esto se debe posiblemente a lo aislado que se encuentra la cabecera municipal de Chajul de la ciudad capital de Guatemala a una distancia aproximadamente de 328 kilómetros.

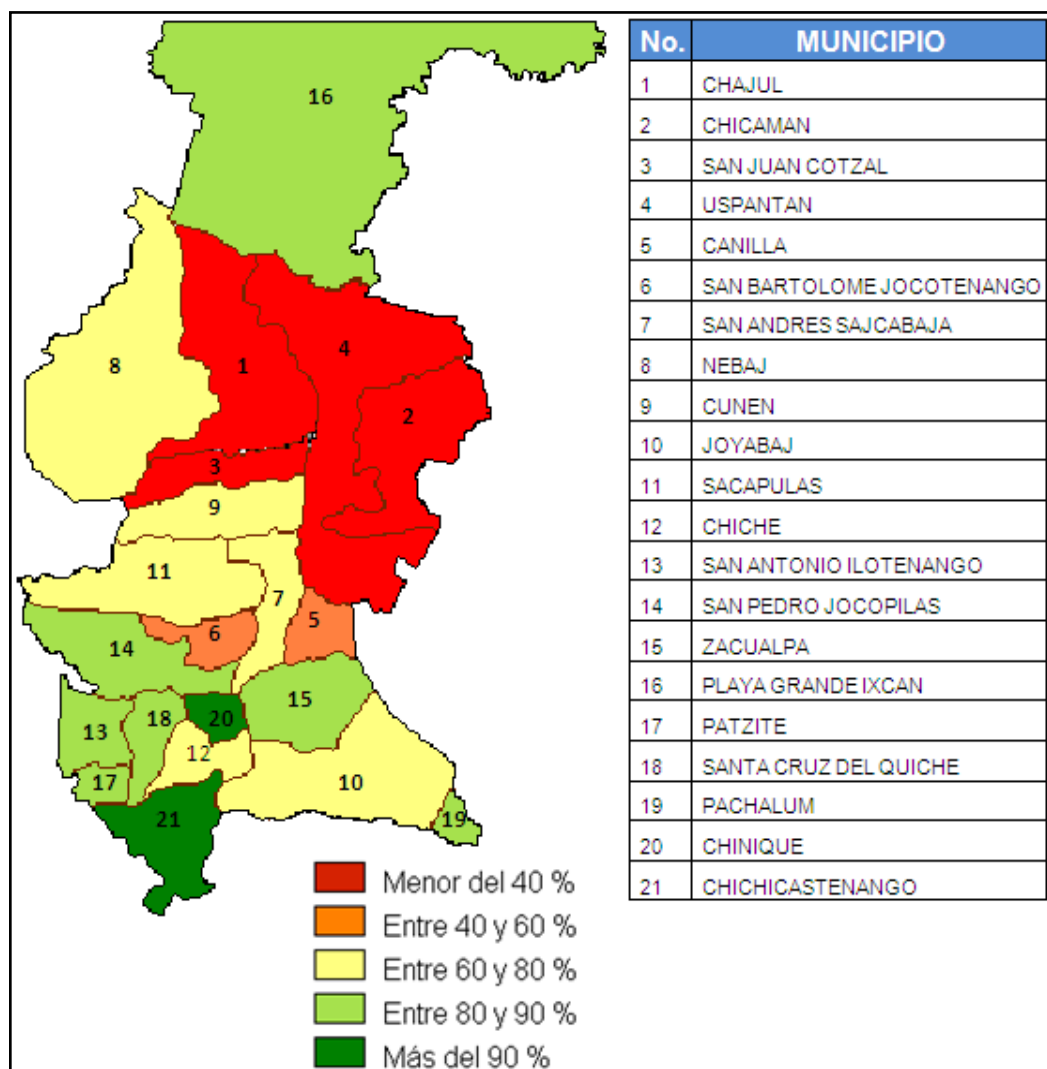
Tabla I. Índice de cobertura eléctrica

INDICE DE COBERTURA ELECTRICA 2010_ QUICHE				
No.	Municipio	Hogares	Usuarios	INDICE
1	CHAJUL	9,873	2,030	20.60%
2	CHICAMAN	6,596	1,818	27.60%
3	SAN JUAN COTZAL	5,102	1,861	36.50%
4	USPANTAN	10,978	4,079	37.20%
5	CANILLA	2,579	1,295	50.20%
6	SAN BARTOLOME JOCOTENANGO	2,005	1,112	55.50%
7	SAN ANDRES SAJCABAJA	5,143	3,205	62.30%
8	NEBAJ	13,803	8,797	63.70%
9	CUNEN	5,572	4,048	72.60%
10	JOYABAJ	12,899	9,470	73.40%
11	SACAPULAS	8,077	6,187	76.60%
12	CHICHE	4,616	3,616	78.30%
13	SAN ANTONIO ILOTENANGO	3,369	2,736	81.20%
14	SAN PEDRO JOCOPILAS	4,570	3,764	82.40%
15	ZACUALPA	5,787	4,923	85.10%
16	PLAYA GRANDE IXCAN	14,837	12,878	86.80%
17	PATZITE	967	848	87.70%
18	SANTA CRUZ DEL QUICHE	16,540	14,823	89.60%
19	PACHALUM	2,408	2,166	90.00%
20	CHINIQUE	2,086	1,884	90.30%
21	CHICHICASTENANGO	23,192	21,126	91.10%
	QUICHE	160,998	112,666	70.00%

Fuente: Dirección General de Energía/MEM.

En la figura 1, se presenta un mapa del departamento de Quiché enumerado según el nombre del municipio que corresponde además se establece un color para un rango en porcentaje de la cobertura en los municipios.

Figura 1. **Mapa de cobertura eléctrica año dos mil diez, Quiché**



Fuente: Dirección General de Energía, de Guatemala/MEM.

1.3. ADECOM como organización

La organización denominada Asociación para el Desarrollo de Comunidades Mayas (ADECOM) nace con el fin de ayudar en varios aspectos a la sociedad del Triángulo Ixil por lo que a continuación se describe el perfil de la organización ADECOM.

1.3.1. Naturaleza

La Asociación para el Desarrollo de Comunidades Mayas (ADECOM) es una entidad privada, no lucrativa, apolítica, que persigue el desarrollo integral de sus socios y comunidades mayas, elegida en asamblea general, sin fines políticos ni religiosos.

1.3.2. Organización

En marzo del dos mil once, conformaron la Asociación para el Desarrollo de Comunidades Mayas –ADECOM- de la sierra, los fundadores fueron estudiantes en tres comunidades de Santa Clara, Xolcuay y Xix, y actualmente la integran once comunidades de la CPR (Comunidades de Población en Resistencia) que están ubicadas en las siguientes tres áreas:

- Área de Xeputul, Pal, Santa Rosa, Chaxa.
- Área de Cabá, antiguo Amajchel, La Laguna Cabá.
- Área de Santa Clara, nuevo Amajchel, Mirador y Santa Clara, Xecoyeu y las otras comunidades Xolcuay y Xix.

1.3.3. Ubicación

Las oficinas de la organización ADECOM se ubica en el municipio de Nebaj, departamento de Quiché, y cubre todo el Triángulo Ixil conformado por los tres municipios que se mencionan a continuación: Nebaj, San Juan Cotzal y Chajul todos del departamento de Quiché.

1.3.4. Misión

“Llevar proyectos, programas y otros beneficios comunitarios a las comunidades, para el fortalecimiento de la solidaridad y unidad en las comunidades del área Ixil afectada por el conflicto armado interno, lo que viene promoviendo la credibilidad en el sistema organizativo comunitario ante las instituciones de la sociedad.”

1.3.5. Visión

“Ser una organización con capacidad administrativa, financiera, técnica para propiciar procesos que desencadenen acciones hacia el desarrollo integral de las comunidades, alcanzando un mejor nivel de desarrollo humano, educación y programa para la participación de la mujer en todos los niveles.”

1.3.6. Estructura organizacional

La estructura de la entidad ADECOM se conforma por la asamblea general, junta directiva, secretario, equipo de administración y financiero, equipo ejecutivo, teniendo en el primer nivel organizacional la encargada de becas, comisión de gestión de proyectos y comisión de la mujer.

En la figura 2 se presenta el diagrama de la estructura organizacional de ADECOM (Asociación para el Desarrollo de Comunidades Mayas).

Figura 2. **Estructura organizacional de ADECOM**



Fuente: ADECOM.

1.3.7. **Áreas de proyección**

Promueve el desarrollo integral de sus asociados y de distintas comunidades mayas, pero sobre todo lograr un mejor nivel de vida, desarrollando proyectos agropecuarios y promoviendo también la comercialización de los distintos productos obtenidos.

Además promueve el rescate, conocimiento, desarrollo y difusión de la cosmovisión maya, gestiona becas en distintos niveles de educación y proyectos de infraestructuras para el fortalecimiento educativo en diferentes comunidades.

Promueve talleres de capacitación sobre medio ambiente, reforestación y recursos naturales, como también la participación de la mujer en todos los programas y proyectos de carácter económico, social y cultural que persigue la asociación, así como proyectos relacionados en salud.

Impulsa obras de infraestructura para las comunidades necesitadas y asociados, así también el fortalecimiento de la cultura Maya, por medio de talleres y capacitación para la elaboración de productos artesanales.

ADECOM también gestiona y propone ante entidades públicas y privadas la ejecución de proyectos de desarrollo en varias comunidades. Recibe y financia proyectos de desarrollo social en el campo de la agricultura, educación, vivienda, trabajo, alimentación, ecológica y cultural.

1.3.8. Programas

Entre los programas de apoyo más importantes que desempeña la Asociación para el Desarrollo de Comunidades Mayas en la región Ixil se destacan los siguientes:

- Fortalecimiento de becas: es un programa que fortalece los diferentes niveles de conocimientos a varias mujeres y jóvenes en general, con capacidad y experiencia para ocupar puestos en salud, educación y otras actividades que beneficien a la comunidad, desarrolladas en varias comunidades.

- Se imparten clases presenciales a centenar de niños de preprimaria, y toda la primaria en varias comunidades de la región Ixil.
- ADECOM brinda apoyo a padres de familia con escasos recursos económicos que no pueden pagar los estudios de sus hijos, financiando total o parcialmente estos gastos por medio de las becas que administra.

2. DIAGNÓSTICO DE INSTALACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA COMUNIDAD DE SANTA CLARA

2.1. Antecedentes de los equipos del sistema fotovoltaico de la comunidad de Santa Clara, Chajul, Quiché

En 2001, los habitantes organizados de Santa Clara contactaron a varias entidades para que los ayudaran a tener acceso a la energía eléctrica. Por lo remoto de su aldea, sabían que era imposible conseguir el posteo eléctrico, así fue como negociaron la donación de paneles solares que actualmente utilizan para electrificar sus hogares.

El proyecto de los sistemas fotovoltaicos fue instalado en dos fases: la primera fue una donación de 42 sistemas fotovoltaicos en 2001 con fondos del proyecto Asistencia a Víctimas de Violaciones a los Derechos Humanos (AVIDEH) - (USAID/FONAPAZ); la segunda, consistió en 40 sistemas adicionales que llegó en noviembre de 2002 con el proyecto AVIDEH, proporcionado por USAID/FONAPAZ.

Esta donación benefició a ochenta y dos familias. Cada panel solar es capaz de proporcionar 50 vatios de energía, lo necesario para hacer funcionar tres lámparas y un radio de transistores.

Actualmente las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos en la comunidad de Santa Clara, muy pocos sistemas se encuentran funcionando en su totalidad, mientras que otros están en desuso totalmente.

Esto se debe por la falta de mantenimiento, mala operación y en su gran mayoría por falta de recursos económicos para comprar las baterías y así reemplazar las que ya terminaron su vida útil.

Los sistemas instalados originalmente en Santa Clara consisten en, un panel solar marca Siemens o marca Shell Solar, capacidad de 50 vatios; una batería de ciclo profundo marca Trojan; un controlador, marca MORNINGSTAR, de 10 Amperios; tres lámparas tipo PL fluorescente de 10 vatios y 12 voltio corriente directa; un convertidor de CD (Corriente Directa) a CD (Corriente Directa) con salidas de 9, 6 y 3 voltios.

2.2. Metodología de evaluación

El diagnóstico del funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos para iluminación domiciliar se llevó a cabo en las viviendas de Santa Clara, municipio de Chajul, departamento de Quiché, con el objetivo de evaluar el estado actual de los sistemas fotovoltaicos y poder documentar los equipos existentes y el estado funcional de los mismos.

Se contó con el apoyo de las personas de la comunidad para realizar la evaluación de los sistemas fotovoltaicos; para facilidad de la evaluación, la comunidad fue dividida en cuatro sectores. La información obtenida de la evaluación fue anotada en boletas preparadas para tal efecto, y con ello contar con información del estado de los sistemas Fotovoltaico.

Equipo e insumos para la evaluación: por cada sistema se tomaron datos del estado del panel, carga de la batería, estado físico de la batería, así como verificar si la batería está conectado con las terminales o tornillos necesarios; estado físico del regulador; números de lámparas que se encontraban

funcionando, se verificó si las lámparas contaban con su interruptor debidamente conectados; datos que fueron anotados en la boleta de evaluación técnica elaborada para el diagnóstico de los sistemas fotovoltaicos.

Para la evaluación se contó con el siguiente kit de herramientas, equipos y elementos:

1 boleta	1 pinza corta alambre
1 multímetro	1 caja de herramientas
1 linterna de mano	1 cinta para aislar

2.3. Actividades realizadas

Previo a realizar la evaluación en cada una de las viviendas, se procedió con la identificación de la vivienda, el beneficiario a quien se le explicó el motivo de la evaluación. Luego, se procedió a revisar el estado del panel solar (limpieza, condición de la base, posicionamiento del panel para aprovechar la mayor cantidad de los rayos del sol), se midió el voltaje de las terminales del panel.

Además se evaluó las características y condiciones de los siguientes componentes de los sistemas fotovoltaicos: la batería (marca, capacidad de amperios-hora, terminales adecuadas para la conexión voltaje de la batería); se realizaron mediciones en los bornes del controlador, así como, anotar la marca, capacidad, se verificó el ajuste en las conexiones (para determinar si habían falsos contactos); funcionamiento de las lámparas, las características de las lámparas (tipo y cantidad de vatios), se observó que las lámparas tuvieran sus respectivos interruptores, finalmente, también se tomó información de los inversores.

Toda la información obtenida se iban anotando en la boleta de evaluación, posteriormente al propietario de la vivienda se le indicó de los cuidados o mantenimientos que debe darse a cada uno de los componentes del sistema para el buen funcionamiento.

2.4. Identificación de los equipos instalados

Después de un lapso de diez años aproximadamente de la instalación de los ochenta y dos sistemas fotovoltaicos domiciliarios para iluminación domiciliar colocado en igual números de viviendas en la comunidad de Santa Clara, cada sistema está compuesto actualmente de los siguientes componentes:

- Un módulo o panel fotovoltaico con una potencia de 50 vatios, marcas SEMENS o SHELL SOLAR.
- La mayoría de viviendas usan variedad de marcas de baterías, algunos hasta baterías de vehículos lo cual no es el adecuado en este tipo de sistemas fotovoltaicos, para ello deberán ser de uso exclusivo para un sistema fotovoltaico; algunas de las marcas usadas por la población poseen las siguientes características:

Batería marca tipo: *Trojan marine/RV* de ciclo profundo de 105 Ah.

LUEX batería de ciclo profundo-Aplicación Solar Fotovoltaica-31T-12 voltios- 110 Ah (C 20).

DEKA SOLAR "*Photovoltaic Batteries*" de 100 Ah.

"*ACD Industrial Batteries*" –ACD 1000 Solar Energy -12 voltios– 55 Ah C20 / 68 Ah C100.

También se encontraron varios sistemas que utilizan baterías de vehículos de diversas marcas, lo cual se indicó a la población que no es el adecuado.

- Un controlador marca MORNINGSTAR SunSaver-10: capacidad nominal: 10 voltios dc, corriente nominal de 10 A; modelo: “*SOLAR CONTROLLER, SS – 10 L – 12 voltios*”.
- Un convertidor de CD a CD de 9, 6 y 3 voltios. La gran mayoría de la población ya no hace uso de ello.
- Algunas viviendas tienen inversores de CD a CA para cargar celulares, otros lo utilizan para equipo de sonido ó televisor. Algunos utilizan inversores de automóviles lo cual se les indico a los pobladores que estos inversores descargan rápidamente la batería.
- Tres lámparas tipo PL fluorescentes de 10 vatios, 12 voltios. La gran mayoría de viviendas también cuentan con variedad de marcas de lámparas con diversas capacidades; se verificó que las lámparas sean exclusivamente para uso de sistemas fotovoltaico.

2.5. Resultados de la evaluación

Se evaluaron 82 viviendas en Santa Clara que inicialmente contaban con sistemas fotovoltaicos instalados.

Después de 10 años aproximadamente, se encontró con 18 viviendas que ya no cuentan con este sistema debido a desperfectos o fallas por mal uso que se le dio o por fuerzas de la naturaleza fueron dañados, mientras que 64 viviendas aún cuentan con por lo menos el panel, de estos solo 18 viviendas, es

decir el 22 por ciento de las 82 viviendas aún cuentan con los sistemas fotovoltaicos en buen funcionamiento con todos sus accesorios bien instalados, esto se debe al buen mantenimiento y al buen uso que se le ha dado, en otros casos el componente que se ha dañado ha sido reemplazado con otro de características similares.

En la mayoría de sistemas evaluados, los reguladores fueron desconectados debido a que estos dejaron de funcionar (por tiempo de uso, sobre carga de los mismos), y los sistemas se encontraban conectados de manera directa, es decir, del panel a la batería y de ésta hacia las lámparas, varias lámparas se encontraban sin interruptores; en las conexiones realizadas de forma directa, se encontraban aisladas con nylon o en caso extremo no se encontraban aisladas por lo que se procedió a aislarlos con cinta de aislar.

Las terminales de las baterías se encontraban flojas o sobrepuestas (sin usar terminales o tuercas), por lo que se procedió a asegurar las conexiones. Debido a tuercas dañadas de los bornes de las baterías o la falta de terminales para la batería se efectuaron conexiones de manera empírica, es decir, utilizando cinchos plásticos para asegurar las conexiones a la batería, y con ello, el voltaje en la batería aumenta considerablemente.

Debido al tiempo de uso de las baterías, algunas fueron reemplazadas por los beneficiarios por baterías nuevas, en la que la capacidad de carga de estas baterías está entre 50 - 60 Amperio-hora, la cual es menor a la que se había instalado al principio del proyecto (105 Ah). Así mismo en varias viviendas reemplazaron la batería por una de automóvil lo cual se descarga muy fácilmente por no ser de uso exclusivo para un sistema fotovoltaico.

También se encontraron baterías con niveles de voltaje bajos, por lo que se aprovechó en cada visita, limpiar los bornes de las baterías. También se aprovechó asegurar las conexiones de los bornes y de las conexiones de los cables que conectan los diferentes elementos del sistema, así como, de proteger con cinta de aislar las conexiones.

En cada inspección realizada, se recomendó que los usuarios limpiaran los paneles, debido que estos se encontraban sucios; y en una de las viviendas se limpió el panel con un trapo húmedo con agua, con lo que mejoró el nivel de voltaje del panel a la batería (aumentando el voltaje en 3 voltios).

De las 82 viviendas Inspeccionadas se verificó lo siguiente:

- 64 Viviendas tienen panel
- 30 Viviendas tienen batería
- 21 Viviendas tienen controlador
- 40 Viviendas tienen por lo menos 1 lámpara o hasta 3 en buen estado

Para la rehabilitación de los sistemas fotovoltaicos a los 82 usuarios beneficiados, se hace necesario el reemplazo de los siguientes componentes:

- 18 Paneles
- 52 Baterías
- 61 Controladores
- 126 Lámparas en 42 viviendas

A continuación se presenta un panorama general de la cantidad de viviendas y el estado en que se encuentran los sistemas fotovoltaicos:

39 sistemas están funcionando, en algunas casas, una de dos lámparas instalados se encontraban funcionando, algunas lámparas se encontraban conectadas de forma directa a la batería sin interruptores; reguladores sin funcionar; baterías reemplazadas por una de menor capacidad o una de automóvil.

64 viviendas que por lo menos tienen el panel en optimas condiciones incluyendo las 18 viviendas que cuentan con todo los componentes del sistema operando, con la particularidad de que en algunos casos el panel aun está en la intemperie sin usarlo y otros lo tienen guardado. 3 viviendas usan el regulador solo para indicar la carga de la batería.

40 viviendas incluyendo las 18 que por lo menos tienen 1, 2 o hasta las 3 lámparas funcionando; algunas personas tienen guardado las lámparas que dejaron de usarlos por la falta de la batería en el sistema.

18 sistemas fotovoltaicos funcionando con todos los componentes y conectados adecuadamente, en algunas viviendas solo funciona una lámpara y en otras funcionan las tres, como fue diseñado originalmente.

18 viviendas ya no cuentan con sistemas fotovoltaicos, debido a desperfectos o fallas por mal uso que se le dio o por fuerzas de la naturaleza fueron dañados (descargas electro atmosféricas).

En la tabla II, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación realizada en la comunidad de Santa Clara; en la primera columna se especifica el estado actual de los sistemas fotovoltaicos y en la segunda columna se indica la cantidad de viviendas o número de sistemas fotovoltaicos, mientras que en la última columna se da una breve descripción.

Tabla II. **Resumen de evaluación de sistemas fotovoltaicos**

Estado general de SFV instalados	Número de sistemas	Observaciones
Funcionando correctamente	18	Vivienda funcionando adecuadamente con todos los componentes necesarios en la instalación.
Sistemas que funcionan	39	La mayoría de sistemas que funcionan, tienen problemas en la batería y en el regulador, y que solo 18 de 39 sistemas funcionan adecuadamente con todos sus componentes para operar bien, es necesario resaltar que de estos 39 otros componentes ya está por finalizar su vida útil por lo que muy pronto requerirá un remplazo.
Tienen solo panel	25	Solo tienen panel sin sacarle ningún provecho.
Sistemas que no funcionan	18	Diez y ocho sistemas no funcionan por daño en batería, y varios fueron dañados por descarga eléctrica, dañando totalmente el sistema, (panel, batería y otros).

Fuente: elaboración propia.

2.6. Costo estimado para rehabilitar los sistemas evaluados

En la tabla III, se detalla el costo aproximado de la inversión que se tendrá que hacer para que los beneficiarios vuelvan a tener un sistema de iluminación en óptimas condiciones, es importante indicar que el cálculo se basó en los 82 sistemas fotovoltaicos evaluados y solo se toma en cuenta el equipo faltante para reactivar el sistema. Estos costos estimados para cada componente del

sistema son en forma individual pero, si se compra en conjunto toda la cantidad puede reducirse grandemente.

Tabla III. **Costo estimado para rehabilitar los sistemas fotovoltaicos**

No. ITEM	Componentes del sistema	Cantidades	Costo/unidad	Costo/sistema	Costo/proyecto
1	Panel	18	Q 3 500,00	Q 3 500,00	Q 63 000,00
2	Controlador	61	Q 600,00	Q 600,00	Q 36 600,00
3	Batería de ciclo profundo 100 Ah	52	Q 1 300,00	Q 1 300,00	Q 67 600,00
4	Lámparas	42	Q 150,00	Q 450,00	Q 18 900,00
5	Kit de materiales Eléctricos y accesorios	64	Q 350,00	Q 350,00	Q 22 400,00
-----	Total	-----	-----	Q 6 200,00	Q 208 500,00

Fuente: elaboración propia.

3. GENERALIDADES DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CON ENERGÍA SOLAR

3.1. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar. La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.

Para contar con este tipo de servicio, es necesario disponer de un sistema formado por equipos contruidos especialmente para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos. En el siguiente inciso 2.2, se explica el funcionamiento básico y las características más importantes de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo; algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras.

En el caso particular de la república de Guatemala, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnicas y económicas, pues la región de Guatemala dispone durante todo el año de abundante radiación solar. Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones de América Central, Guatemala es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

3.2. Partes que conforman un sistema de generación fotovoltaico

Un sistema de generación fotovoltaico es un conjunto de equipos contruidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.

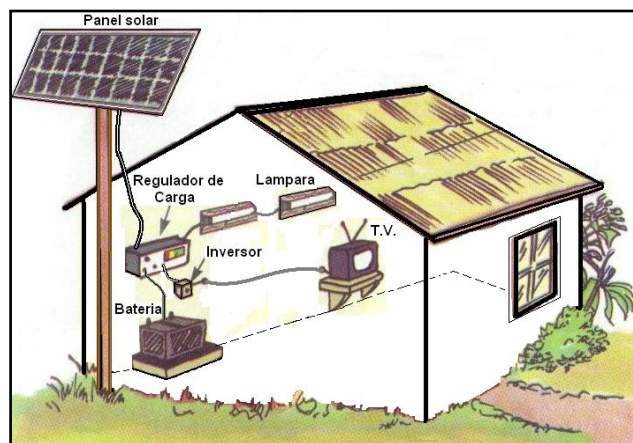
- Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

- El módulo o panel fotovoltaico
- La batería
- El controlador o regulador de carga
- El inversor
- Las cargas de aplicación (consumo)

En la figura 3, se muestra el esquema típico en una vivienda de un sistema fotovoltaico con todos sus componentes tales como: el módulo o panel solar, controlador o regulador de carga, batería, inversor y las posibles cargas a conectar.

Figura 3. **Esquema de un sistema fotovoltaico en una vivienda**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

En instalaciones fotovoltaicas pequeñas es frecuente, además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles para la protección del sistema. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada.

- **Módulo o panel fotovoltaico**

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.

El la figura 4, se muestra un conjunto de módulos o paneles solares conectados para generar energía eléctrica.

Figura 4. **Módulos fotovoltaicos típicos y su estructura de soporte**



Fuente: <http://www.ashdenawards.org/solar>. [Consulta: 01 de febrero de 2012].

- Celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un vatio a plena luz del día; normalmente las celdas fotovoltaicas son de color azul oscuro, la mayoría de los paneles fotovoltaicos consta de 36 celdas fotovoltaicas.

- Marco de vidrio y aluminio

Este tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. El conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentran completamente aislados del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (Acetato de Vinil Etileno).

El vidrio frontal es antirreflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte.

- Tipos de módulos fotovoltaicos

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.
- Módulos de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor.
- Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

- Potencia

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (vatios pico), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 vatios pico es capaz de producir 55 vatios más o menos un 10 por ciento de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1 000 vatios por metro cuadrado (vatios/m²) y sus celdas poseen una temperatura de 25 grados centígrados. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 vatios.

En el mercado, se pueden encontrar módulos fotovoltaicos de baja potencia, desde 5 vatios pico; de potencia media, por ejemplo 55 vatios pico; y de alta potencia, hasta 160 vatios pico. En aplicaciones de electrificación rural suelen utilizarse paneles fotovoltaicos con capacidades comprendidas entre los 50 y 100 vatios pico.

La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años. El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar.

La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido.

- La batería

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación

y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías.

Las baterías son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- La batería almacena la energía producida por el panel solar durante el día. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento, esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en períodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar lámparas, un televisor o una radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que las que pueden producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

- **Características de las baterías**

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse.

En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías para sistemas fotovoltaicos están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

En la figura 5, se muestra una batería típica para aplicaciones fotovoltaicas. En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Figura 5. Batería típica para aplicaciones fotovoltaicas



Fuente: <http://www.trojanbattery.com>. [Consulta: 01 de febrero de 2012].

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente.
- Los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Los ahorros en costos que se pueden tener al comprar baterías de automóviles en lugar de baterías para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos se pierden ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.

La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga.

Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y

aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados. Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene para una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

- **Mantenimiento y vida útil**

Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libre de mantenimiento' (baterías selladas), no lo necesitan.

Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien

cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15 por ciento - 30 por ciento del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga.

- El regulador o controlador de carga

El regulador o controlador de carga es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.

En la figura 6, se presenta un regulador o controlador de carga que se utiliza en las viviendas de Santa Clara, Chajul, este dispositivo es el encargado de conectar y desconectar las corrientes en el sistema fotovoltaico.

Figura 6. **Vista de un controlador o regulador de carga**



Fuente. <http://www.ashdenawards.org/solar>. [Consulta: 02 de febrero de 2012].

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

- El inversor

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas, sino que también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita.

El tipo de energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios funcionan a 12 voltios de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 voltios.

Por otra parte, diferentes aparatos como: radios y televisores, necesitan para su funcionamiento de 120 voltios de corriente alterna, en Guatemala estos equipos operan con estos voltajes que son suministrados por la red eléctrica convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 voltios.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 o 24 voltios por lo que se requiere de un componente adicional como el inversor, que transforma a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 voltios de la batería en corriente alterna a 120 voltios.

Existe una amplia variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. El uso de inversores permite utilizar, radios, televisores pequeños, teléfonos, cargadores de celulares, computadoras portátiles, entre otros.

En la figura 7, se muestra uno de los tantos inversores que se encuentran en el mercado para uso exclusivamente en los sistemas fotovoltaicos, ya que vienen diseñados para no causar descargas profundas a la batería.

Figura 7. **Inversor**



Fuente: <http://www.ashdenawards.org/solar>. [Consulta: 02 de febrero de 2012].

- **Cargas o consumo**

Finalmente, un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada.

Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores para usos productivos.

La selección de estas cargas es tan importante como la del resto de equipos fotovoltaicos, por ello, hay dos aspectos por considerar cuando se utilizan aparatos que se energizarán a través de un sistema fotovoltaico:

- El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la cantidad de energía diaria producida por el sistema fotovoltaico. Es importante recordar que la disponibilidad diaria de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos es variable pues depende de la radiación solar disponible, del estado de carga de la batería y de la capacidad de los equipos fotovoltaicos instalados, especialmente de la capacidad total de los módulos

fotovoltaicos. Por lo tanto, la energía disponible es limitada y hay que utilizar racionalmente los aparatos según la disponibilidad del sistema.

Es recomendable hacer uso, en la medida de lo posible, de aparatos modernos de bajo consumo de electricidad y alta eficiencia. Por ejemplo, se descarta el uso de bombillos incandescentes, planchas eléctricas y hornos eléctricos.

- La necesidad de utilizar aparatos a 120 voltaje en corriente alterna, es determinado por el uso o aplicación que se le dará a la instalación no la de un inversor, es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor.

En la decisión hay que tomar en cuenta que el inversor implica un costo adicional del sistema, y que en el mercado se ofrecen varios aparatos electrodomésticos que funcionan a 12 voltios.

La suma instantánea de las potencias individuales de cada uno de los aparatos por emplear no debe ser mayor que la capacidad máxima en vatios del inversor. Se recomienda utilizar inversores construidos especialmente para aplicaciones fotovoltaicas y sobredimensionar la capacidad de éstos en un 20-30 por ciento para prevenir expansiones futuras en la instalación.

Por ejemplo, si se tiene un inversor de 300 vatios de potencia nominal es posible utilizar simultáneamente un máximo de 20 lámparas de 15 vatios cada una, o emplear simultáneamente un televisor de 75 vatios más 15 lámparas de

15 vatios, o cualquier combinación de aparatos cuya suma de potencias instantáneas sea igual o menor que 300 vatios.

La utilización de un inversor no imposibilita el uso de aparatos a 12 voltios de corriente directa. Por lo tanto, una instalación fotovoltaica que disponga de un inversor puede proveer energía tanto a cargas de 12 voltios, como a cargas de 120 voltios.

3.3. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema de generación de electricidad. Sin embargo, la cantidad de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento, de los equipos instalados, especialmente de los módulos y las baterías respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar.

Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee, sin embargo desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar.

En Guatemala los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer energía a lámparas, computadoras, pequeños televisores, teléfonos celulares, bombas de agua, purificadoras de agua, refrigeradoras de vacunas y equipos profesionales de radiocomunicación.

Dependiendo de su aplicación y de la cantidad y tipo de energía producida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Lámparas portátiles.
- Sistemas individuales de Corriente Directa (CD) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas centralizados aislados de la red.
- Sistemas centralizados conectados a la red.

A continuación se describirá brevemente las características más importantes de estos sistemas.

- Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas

La aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica es la electrificación rural de viviendas a través de sistemas individuales CD. Estos sistemas están compuestos, normalmente, por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 vatios pico, un regulador de carga electrónico a 12 voltios, una o dos baterías con una capacidad total menor que 150 A-h, 2 ó 3 lámparas a 12 voltios y un tomacorriente para la utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 voltios CD.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- El voltaje nominal es 12 voltios de corriente directa:

Esto implica que solamente se puede usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 voltios. Es importante mencionar que aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 voltios, en

Guatemala puede ser un poco difícil adquirir este tipo de aparatos en el comercio local, particularmente las lámparas. Normalmente, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos para comprarlas y esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).

- El costo comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares:

Esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad, debido a que el sistema trabaja a 12 voltios, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema es comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica.

- Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas

Los sistemas individuales CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD.

La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 voltios de corriente directa a 120 voltios de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas CA son equipos de audio (radios y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo, computadoras y bombas de agua.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CD.

La experiencia dice que para necesidades de electrificación mínimas, por ejemplo 2 lámparas, 1 radio y 1 TV (blanco y negro -B/N-) un sistema fotovoltaico CD es la solución económica y técnicamente más adecuada y accesible, sin embargo, si las necesidades de electrificación comprenden el uso de más de 2 lámparas, radios de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, entonces, sería mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- El sistema puede proveer energía tanto a 120 voltios de corriente alterna como a 12 voltios de corriente directa:

La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 120 voltios, los cuales son más comunes, más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 voltios; ó se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 voltios, por ejemplo radios para automóviles, televisores B/N portátiles, etc.

Esta flexibilidad en el uso de aparatos CA y CD es una de las cualidades más importantes de los sistemas individuales CA.

- El costo del sistema es relativamente más alto:

Es lógico que al agregar un componente más (el inversor) al sistema básico CD, los costos iniciales se incrementan. Sin embargo, es importante considerar que el costo de las lámparas y de todos los equipos que funcionan a 120 voltios es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 voltios. Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 120 voltios en el comercio local que reemplazar equipo de 12 voltios. Por lo tanto, si bien existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero.

3.3.1. ¿Cuándo utilizar un sistema fotovoltaico en el área rural?

Cuando la distancia de la red eléctrica está a más de diez kilómetros, dado por el alto costo de suministro de las líneas de transmisión y redes de distribución, y cuando además, seden algunas de las siguientes condiciones:

- El acceso a la red eléctrica es casi nula.
- Existe un bajo número de usuarios.
- Alta dispersión entre viviendas (más de 200 metros).
- La topografía del terreno es muy accidentada.
- El acceso a la comunidad es difícil.
- Alto costo de suministro de combustibles fósiles.

Beneficios: los beneficios que se obtienen por el uso de los sistemas fotovoltaicos para iluminación domiciliar en el área rural son:

- Se evita caminar para comprar candelas o el combustible para ser utilizado en los candiles.
- Se elimina la contaminación que produce el humo de candiles y candelas, el cual es perjudicial para la salud.
- Habrá más convivencia familiar por la noche.
- Se podrá impartir clases de alfabetización a los adultos por la noche, con lo que no obstaculizaría las labores diarias de las personas.
- Los niños tendrán más tiempo para poder estudiar, aprovechando el día para apoyar a sus padres en las labores cotidianas.

3.4. Costos de equipos, operación y mantenimiento

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado.

El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

Costos: la inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores, por ejemplo: los precios internacionales del mercado fotovoltaico, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, la ubicación y demanda energética de los usuarios.

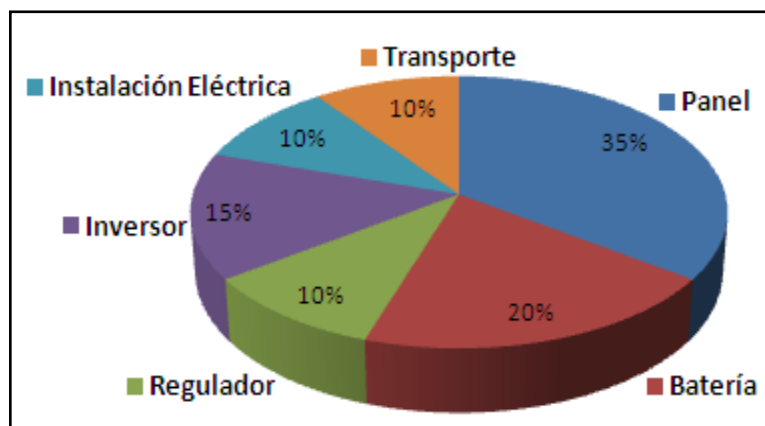
Las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), la distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema (en cantidad de kilómetros por recorrer en

vehículo todo terreno, en vehículo normal, en bestia o caminando), y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos (generalmente entre el 10 - 30 por ciento), son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que el usuario final invertirá para electrificar su vivienda.

El costo inicial total de un sistema fotovoltaico rural individual típico en Guatemala, para aplicaciones domésticas se estima entre Q. 7000,00 y Q. 10000,00, el cual incluye los equipos, el transporte y la instalación.

De esta cantidad, los montos de mayor relevancia son un 35 por ciento correspondiente al módulo fotovoltaico, y un 20 por ciento a la batería, 15 por ciento al inversor, 10 por ciento al transporte y a la instalación eléctrica respectivamente, tal y como se muestra gráficamente en la Figura 8. Sin embargo, la experiencia dice que para viviendas rurales muy alejadas y con vías de acceso deficientes, el costo de transporte suele ascender del 10 al 20 por ciento del costo inicial.

Figura 8. **Costo inicial total de un sistema fotovoltaico rural**



Fuente: elaboración propia.

La calidad y capacidad de los equipos fotovoltaicos y las condiciones de acceso al lugar donde se instalará el sistema pueden ocasionar un aumento o disminución significativa del costo inicial indicado en la figura 8.

Los costos totales de un sistema fotovoltaico pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Costos de inversión
- Costos de mantenimiento
- Costos de reemplazo

Los costos de inversión son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70 - 75 por ciento del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema fotovoltaico completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad, se estima entre 15 y 20 años. La vida útil del sistema está determinada por el tiempo que tarda el módulo fotovoltaico en perder el 10 por ciento de su capacidad de producción de potencia. Nótese que en este período, se deberá reemplazar la batería 3-4 veces, según las condiciones de trabajo.

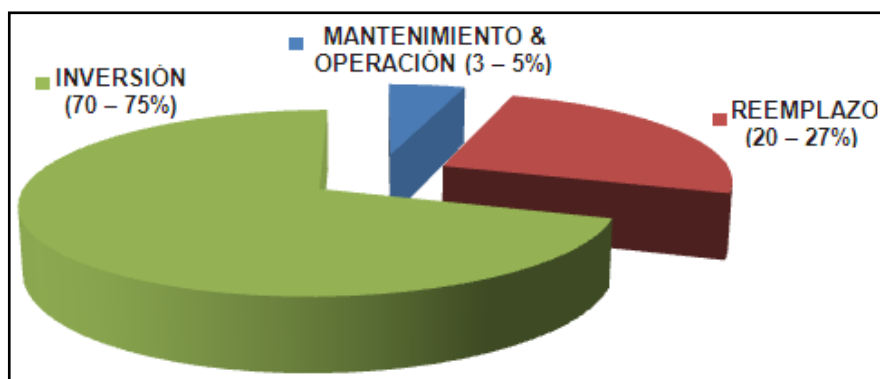
Los costos de mantenimiento y operación son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema fotovoltaico. Por ser un sistema que no posee partes móviles el mantenimiento es mínimo. Normalmente, el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente de los paneles fotovoltaicos, y el reemplazo oportuno del agua de las baterías; por lo tanto, los costos de mantenimiento son muy bajos y

representan un 3-5 por ciento del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

Los costos de reemplazo son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil. Generalmente, esto sucede después de 3 o 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida la batería. Estos costos representan 20 - 27 por ciento de los costos totales del sistema a lo largo de toda su vida útil.

En la figura 9, se muestran los costos totales de un sistema fotovoltaico que pueden clasificarse en las categorías de costos de inversión, costos de mantenimiento y costos de reemplazo.

Figura 9. **Costos totales de un sistema fotovoltaico rural**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV, se presenta información técnica y costo estimado relativo a un sistema fotovoltaico utilizado en una vivienda típica del área rural. Estos

montos estimados son según el mercado actual esto en un futuro puede variar grandemente.

Tabla IV. **Costo estimado para un sistema fotovoltaico**

Tipo de Sistema	Capacidad	Componentes del Sistema	Rango de Costo/Unitario en (Q)	Uso Típico	Rango de Costo Total
Rural Individual.	50 – 100 vatios	Panel	3 500 – 4 500	Iluminación	Q 7 000,00 - Q 10 000,00
		Controlador	600 – 1 000	Radio	
		Batería 100 Ah	1 300 – 2 200	Televisor b/n	
		Tres Lámparas	450		
		Kit de materiales eléctricos y accesorios	350 - 500	Teléfonos Celulares	
		Inversor de Corriente	800 – 1 500		

Fuente: elaboración propia.

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, como por ejemplo una planta de diesel, el costo inicial de un sistema fotovoltaico es relativamente alto pero el costo de operación y mantenimiento es muy bajo. Esto hace frecuentemente que un sistema fotovoltaico sea la opción más barata aunque el costo inicial constituya una barrera para que muchos usuarios potenciales, sobre todo en zonas rurales, no los puedan adquirir.

3.5. Aspectos ambientales en un sistema de generación

En muchos casos, se tiene que decidir entre una planta eléctrica diesel o un sistema fotovoltaico para electrificar una vivienda rural. Si se comparan ambas alternativas, es posible obtener un panorama ilustrativo de los efectos positivos y negativos de cada una de ellas, tanto del punto de vista económico, como del punto de vista ambiental.

El costo inicial de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico de la misma capacidad. El tiempo de instalación de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico, aunque para las dos alternativas el tiempo es corto y las dificultades de transporte son básicamente las mismas. Además, a nivel local generalmente existen varios distribuidores de plantas eléctricas de combustible.

El abastecimiento periódico de combustible para una planta eléctrica ubicada en un lugar remoto es un problema grande. Las dificultades para transportar el combustible son permanentes. El almacenamiento de combustible, cuando existe, se hace en condiciones peligrosas para la seguridad de las personas y bienes materiales. Los sistemas fotovoltaicos, en cambio, no requieren de ningún suministro de combustible. Los costos, riesgos y peligros relacionados con el uso de combustibles fósiles desaparecen.

Las plantas eléctricas que utilizan combustibles fósiles producen ruido cuando operan. Inicialmente esta contaminación sonora suele ser tolerada por el entusiasmo de disponer de energía eléctrica; sin embargo, pronto ésta se hace intolerable, especialmente para las personas de la tercera edad, enfermos y maestros de escuela. Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto cuando operan debido a que no poseen partes y movimientos mecánicos por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.

Las plantas eléctricas de combustibles fósiles producen humo cuando operan. Si la planta no ha recibido el mantenimiento adecuado, la cantidad de humo producido es considerable y dañina para las personas próximas a ésta. Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas.

La producción de hidrógeno no es un problema si las baterías se encuentran en una habitación ventilada, en caso contrario, se puede producir una explosión debido a la concentración alta de este gas.

El derrame de la solución de ácido sulfúrico de las baterías representa un peligro para la piel de las personas y para el suelo. En la mayoría de los casos, esta contaminación se produce cuando se abandona irresponsablemente a la intemperie baterías que han cumplido su vida útil. Esta práctica es bastante frecuente en el área rural debido a la falta de programas de educación ambiental y a la falta de recursos para el retiro ecológicamente controlado de las baterías inservibles.

Se puede decir que los sistemas fotovoltaicos poseen impactos ambientales menores que las plantas eléctricas a base de combustibles fósiles. Ellos son una solución amigable con la naturaleza. Sin embargo, el mal uso y manejo de esta tecnología sí puede tener efectos dañinos al medio ambiente. Se sugieren algunas recomendaciones que se deben atender para evitar esto:

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser instalados correctamente para evitar su fallo prematuro, de lo contrario, ocasionará el abandono de los equipos y su posible deterioro. No tiene sentido invertir en equipo de alta tecnología si éste no será utilizado durante muchos años.
- Debe existir un programa eficaz de retiro y reciclaje de baterías. Las baterías fotovoltaicas abandonadas a la intemperie después de cumplir su vida útil ocasionarán contaminación, por lo que es necesario elaborar un programa para el desecho de las baterías.

- Las baterías deben estar instaladas en una habitación especialmente destinada a este propósito: sistemas fotovoltaicos con baterías instaladas en habitaciones utilizadas por personas podrían ocasionar riesgos a la salud y a la seguridad de las personas si no están instaladas en forma segura.

3.6. Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado su capacidad para proveer energía eléctrica a sitios aislados de la red convencional. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica no es siempre la solución más adecuada a todos los problemas de electrificación rural de nuestro país. Dependiendo del caso en particular, de la extensión de la red convencional, el empleo de aerogeneradores o el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, pueden ser alternativas válidas.

Como regla general, antes de comprar cualquier equipo se debe evaluar detenidamente si éste es la mejor opción o no a un caso particular, incluso, aun cuando ya se haya decidido utilizar la opción fotovoltaica, el tipo de sistemas que se instalará (CD, CA o centralizado) es una decisión muy importante que se debe tomar a partir de las necesidades energéticas actuales y futuras y de la disponibilidad económica. A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que los sistemas fotovoltaicos presentan en el país.

- Ventajas para usar un sistema fotovoltaico
 - Guatemala dispone de abundante radiación solar para hacer funcionar un sistema fotovoltaico.

- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años) ya que no tienen partes móviles que produzcan desgaste.
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.
- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.
- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestro país.
- En Guatemala ya existen distribuidores de equipos fotovoltaicos que ofrecen sus productos y la instalación de los mismos.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.
- Un sistema fotovoltaico permite ser expandido conforme a las necesidades vayan creciendo.

- Se evita los altos costos de cableado por la dispersión de las viviendas.
- Desventajas de utilizar un sistema fotovoltaico
 - La inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago de una gran mayoría de las familias rurales.
 - La cantidad de energía producida es limitada y alcanza solamente para las necesidades básicas de electricidad.
 - La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.

3.7. Experiencia de la energía solar en Guatemala

El suministro eléctrico juega un papel clave para garantizar los servicios básicos de una comunidad: salud, educación, comunicación desarrollo de actividades productivas.

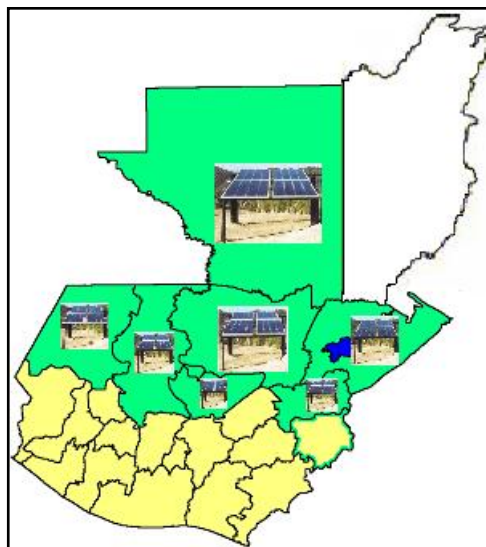
Pero cuando las comunidades están muy aisladas de la red eléctrica y la topografía es muy accidentada o existe un bajo número de usuarios el costo del suministro de la energía por la red convencional es muy elevado. Por eso varias instituciones de la república de Guatemala juntamente con organismos internacionales han logrado electrificar con sistemas fotovoltaicos a varias comunidades en siete departamentos para contribuir a mejorar las condiciones de vida, de las comunidades rurales, apoyándolas en su lucha contra la pobreza, el aislamiento y la marginación de sus condiciones económicas.

Los departamentos en las cuales varias comunidades cuentan con un sistema fotovoltaico son los siguientes:

- Petén
- Huehuetenango
- Quiché
- Alta Verapaz
- Baja Verapaz
- Izabal
- Chiquimula

En la figura 10, se muestra el mapa de Guatemala con los departamentos donde se han instalado sistemas fotovoltaicos a más de cien comunidades, según información de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Figura 10. **Mapa de los departamentos donde varias comunidades cuentan con un sistema fotovoltaico**



Fuente: Dirección General de Energía/MEM.

3.7.1. Equipo de medición de radiación solar en regiones de Guatemala

Potencial solar: Guatemala se encuentra en una posición estratégica, con lo que cuenta con luz solar casi todo el año, el valor anual de la radiación global solar para todo el país, en promedio es de 5,3 kilo vatios hora por metro cuadrado.

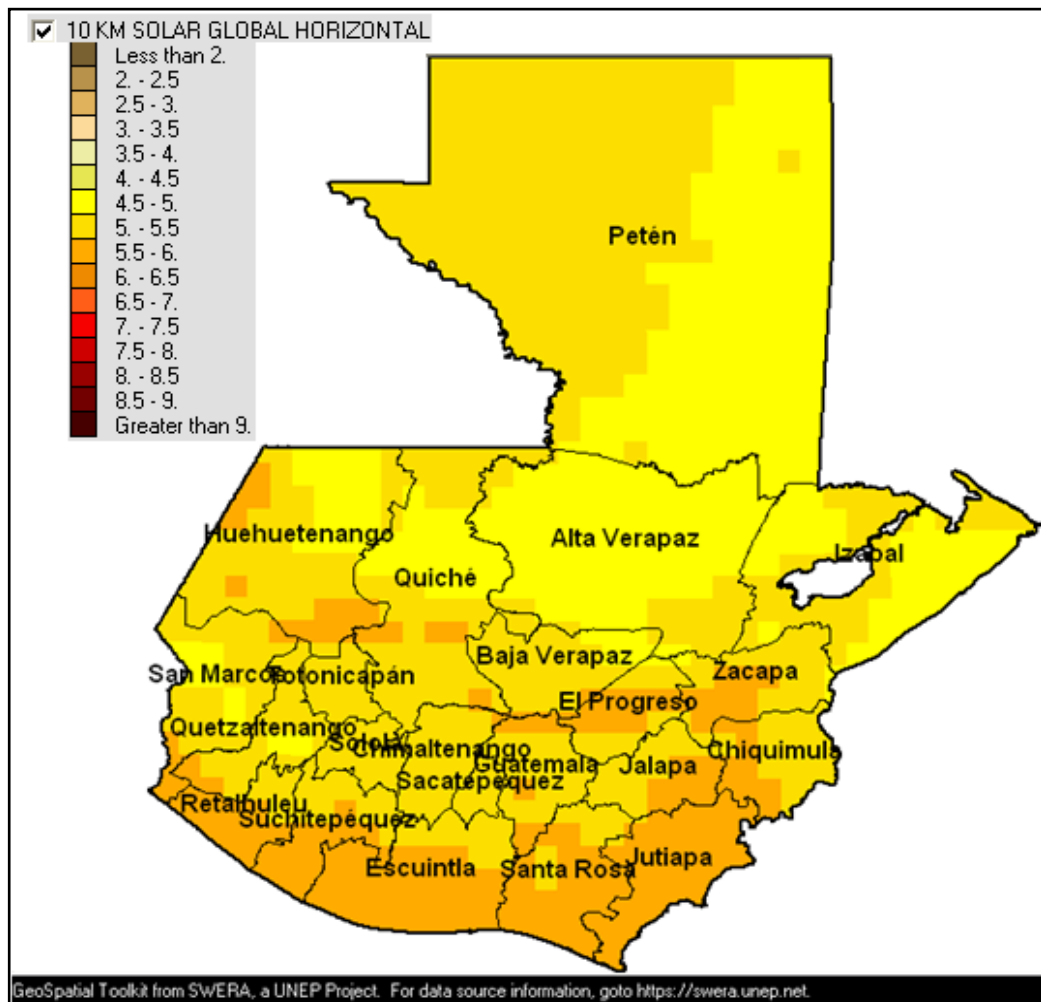
Software o herramienta geoespacial (toolkit): esta herramienta fue desarrollada como parte del proyecto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) y permite conocer el potencial eólico y solar de Guatemala. Entre las características de esta herramienta se encuentran:

- El potencial eólico y solar de Guatemala.
- Permite realizar un análisis básico para la selección óptima de sitios para el aprovechamiento de los recursos solar y eólico.
- Se identifican los lugares con los valores promedios anuales de velocidad de viento más altos, lo que los hace candidatos para el desarrollo de proyectos de energía eléctrica, bombeo de agua, etc.
- Identificación de los sitios para el desarrollo de proyectos solares (fototérmicos y fotovoltaicos).
- Además, de obtener datos de recurso eólico y solar, se pueden obtener, otros datos tales como: elevaciones, límites municipales, áreas protegidas, líneas de transmisión, aeropuertos, carreteras, poblados, etc.

En la figura 11, se muestra un mapa de Guatemala obtenido con la ayuda de un software llamado SWERA donde se puede observar la radiación global solar de todo el país. La importancia de este mapa radica en que se pueden conocer los lugares de acuerdo a su nivel de radiación, la viabilidad para el

desarrollo de proyectos fotovoltaicos y fototérmicos, como calentadores solares, secadores, entre otros.

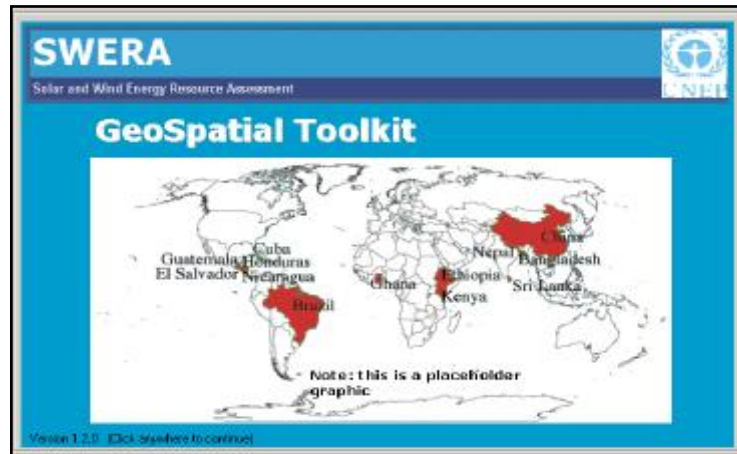
Figura 11. **Mapa de radiación global solar de Guatemala**



Fuente: obtenido del programa o herramienta SWERA.

En la figura 12, se muestra la ventana previa al iniciar el programa SWERA, con lo que se obtiene el mapa de radiación solar de cualquier región de Guatemala y algunas regiones a nivel mundial.

Figura 12. **Ventana de inicio del programa o herramienta SWERA**




Fuente. fotografía del programa SWERA.

Equipo de medición: la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala realiza mediciones de la radiación solar en varias regiones del país, que nos puede servir de referencia para estar seguros de la incidencia solar en el lugar donde se desea instalar un sistema fotovoltaico, dicha dirección cuenta con un equipo de medición para radiación solar denominado Piranómetro.

En la figura 13, se muestra las características técnicas del equipo de medición que utiliza la Dirección General de Energía de Guatemala para hacer mediciones de la radiación solar en regiones del país.

Figura 13. **Sensor de radiación solar (Piranómetro) – NRG Systems**



Rango de Operación	0 hasta 3 000 W/m ²
Señal de Salida	Corriente eléctrica proporcional a la radicación solar total
Sensibilidad	80 µA por 1 000 W/m ²
Estabilidad	Menos de 2% de cambio sobre 1 año
Calibración	Incluida con cada sensor LI-200SA, la cual define la salida del sensor en microamperios por W/m ² calibrado contra un piranómetro Eppley Precisión Spectral (PSP) bajo condiciones naturales de luz de día.
Error	± 3% típico; ± 5% máximo
Linealidad	Desviación Máxima de 1% hasta 3 000 W/m ²
Resistencia de Carga	147 ohmios (para salida de voltaje)
Recomendada	
Materiales	
Detector	Silicón Fotovoltaico de Alta Estabilidad
Encapsulado	Carcasa de Aluminio Anodizado a Prueba de Clima, con difusor Acrílico y herraje de Acero Inoxidable.
Otros	
Montaje	Montaje en torre NRG Tall Tower con brazo (no incluido) y amarras según diámetro de torre
Dimensiones	Diámetro del Ensamble: 25.4 mm
Cable	3 m cable (4 hilos internos)
Peso	28 gramos (1.0 oz.)

Fuente: Dirección General de Energía de Guatemala/MEM.

3.8. Identificación de equipo en la comunidad de Santa Clara

En los siguientes incisos se describirán las principales características técnicas de los equipos que se encuentran instalados en la comunidad de Santa Clara.

3.8.1. Panel o módulo solar

Las viviendas de la comunidad de Santa Clara poseen un panel solar de 50 vatios y son de la marca SIEMENS o SHELL SOLAR, estos módulos son los encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica.

En la tabla V, se muestra las principales características del módulo fotovoltaico, tales como potencia máxima, corriente de corto circuito, etc.

Tabla V. **Características técnicas de un módulo fotovoltaico**

Especificaciones a una radiación solar de 1 000 vatios/m² a una temperatura para la celda de 25 grados centígrados	
Potencia Máxima:	50 vatios
voltaje a circuito abierto:	voc 21,4 voltios
Corriente de corto circuito:	Isc 3,4 A
voltaje a potencia máxima:	vospmax 16,6 voltios
Corriente a potencia máxima:	Ipmax 3,05 A
voltaje máximo del sistema en circuito abierto:	600 voltios
Fusible en serie:	10 A
Clasificación contra incendio:	clase C
Cable de instalación:	Únicamente de cobre, mínimo 14 AWG, Aislado para 90 grados centígrados mínimo
Número de serie:	019771 F 1 40 00 13639

Fuente: obtenida del fabricante del equipo.

El fabricante del equipo hace las siguientes recomendaciones, tanto al usuario como a la persona que lo instalara. Traduciendo del inglés al español el fabricante recomienda lo siguiente:

“Advertencia / Peligro eléctrico: antes de intentar instalar, usar y dar mantenimiento a este producto, lea, entienda y sigue todas las precauciones de seguridad detallados en el manual de instrucciones. Este módulo produce electricidad cuando es expuesto a la luz del sol. Treinta voltios o más es considerado una descarga eléctrica peligrosa. No tocar las terminales cuando el módulo es expuesto a la luz del sol. No producir chispas cerca de vapores inflamables.

Sigue las precauciones de seguridad del fabricante de las baterías si son usados con los módulos. No derramar líquidos sobre los módulos cuando se está limpiando. No sumergir en líquidos. No usar joyas. No sombrear las celdas. No exponer los módulos concentrando los rayos del sol con espejos, lentes o alguna cosa similar. Instalar el módulo y la estructura de soporte a tierra de acuerdo al código nacional o internacional de electricidad. Consultar autoridades locales para permitir, la instalación y los requerimientos de inspección. Consultar al fabricante para la propia instalación en vehículos especiales tales como botes y casas rodantes. El producto debería ser instalado y mantenido por personal calificado. Mantener el módulo lejos de los niños.”

3.8.2. Batería

La mayoría de viviendas usan variedad de marcas de baterías algunos hasta baterías de vehículos lo cual no es el adecuado en este tipo de sistemas fotovoltaicos, algunas de las marcas usadas por la población tienen las siguientes características:

En la tabla VI, se muestra las características técnicas de una batería de ciclo profundo utilizado en los sistemas fotovoltaicos en las viviendas de Santa Clara

Tabla VI. **Características técnicas de batería**

Marca tipo:	TROJAN marine/RV de ciclo profundo.
Modelo:	27 TM
Especificaciones:	105 Ah @ 20 h 79 Ah @ 5 h 160 Min @ 25 A 630 CCA @ 0°F 770 MCA @ 32°F 12 voltios

Fuente: obtenida del fabricante del equipo.

Con estas especificaciones del fabricante nos indica el tipo de batería, capacidad en amperios-hora, voltaje de la misma. Entre los datos más interesantes que nos proporciona el fabricante de una batería está los Ah, esto es la medida del poder de la batería para almacenar o suministrar energía eléctrica durante una hora.

Etiqueta de advertencia del fabricante: además de la etiqueta de especificaciones, el fabricante en una etiqueta de advertencia indica lo siguiente:

“Peligro/ Gases explosivos

Cigarros, llamas o chispas podría causar que la batería explote. Cubre siempre los ojos y cara de la batería. No cargue o además, usar cables o ajuste las conexiones a los bornes sin las propias instrucciones o entrenamiento. Mantener nivelado y apretados los tapones de las celdas.

Tóxico / Ácido / Causa severas quemaduras.

Contiene ácido sulfúrico. Evitar el contacto con la piel, ojos o la ropa. En caso de accidente lavar con mucha agua y llamar a un médico inmediatamente. Mantener fuera del alcance de los niños”.

Otras marcas de baterías utilizadas por la comunidad en los sistemas fotovoltaicos, tienen las siguientes características:

- LUEX, Batería de Ciclo Profundo-Aplicación Solar Fotovoltaica – 31T-12 voltios-110 Ah (C 20).
- “Deka SOLAR Photo voltaic Batteries” (MADE IN USA, 23 A, 175 MIN.12 voltios).
- *ACD industrial Batteries* – ACD 1000 *Solar Energy*-12 voltios – 55 Ah C20 / 68 Ah C100.

3.8.3. Regulador o controlador de carga

Las viviendas también cuentan con un regulador o controlador de carga, marca “*MORNINGSTAR SunSaver-10*”

En la tabla VII se muestra las características de un controlador o regulador de carga, que se encuentran instalados en las viviendas de la comunidad de Santa Clara.

Tabla VII. **Características del controlador de carga**

Controlador marca "MORNINGSTAR SunSaver-10	
Capacidad nominal:	10 Vdc; corriente de carga 10 A.
Tipo de modelo:	Solar Controller SS – 10 L – 12 voltios
Indicador de carga:	Led verde cuando se conecta alguna carga.
Indicador de desconexión de carga:	Led rojo cuando se desconecta la carga.
También cuenta con un conector para la selección del tipo de batería sellada o húmeda, a través de un simple conector.	

Fuente: datos del fabricante del equipo.

Además el controlador cuenta con compensación de temperatura, valores ajustables según la carga de batería con corrección para variaciones de temperatura.

3.8.4. Inversor

Muchas viviendas cuentan con un inversor de diferentes marcas, en algunos casos el inversor que utilizan no es el adecuado para los sistemas fotovoltaicos.

En la siguiente tabla VIII, se muestra las características técnicas de los inversores más utilizados en las viviendas de Santa Clara, según datos del fabricante de cada equipo:

Tabla VIII. **Características técnicas de los inversores utilizados**

No. ITEM	Inversor DC-AC modificando a onda senoidal	
1	Marca:	Samplex Power-450
2	Modelo:	SAM-450-12
3	Potencia:	400 W
4	Voltaje de entrada:	12 V DC
5	Voltaje de Salida:	115 V AC
No. ITEM	Car Power Inverter (inversor de Energía para Autos)	
1	Marca:	Pipeman´s-Instalation-solution
2	Modelo:	PI 800
3	Potencia:	1000 W
4	Voltaje de entrada:	12 V DC
5	Voltaje de Salida:	110 V AC

Fuente: elaboración propia con datos de los fabricantes de los equipos.

3.8.5. Iluminación y otras cargas

Inicialmente en todas las viviendas fueron instalados tres lámparas fluorescentes compactas marca “LUXLITE de 9 vatios, 2 700 K”, con una base de soporte de la marca “LUEX-electricidad-Solar”, voltaje de 12 voltios en corriente directa.

En varias viviendas se cuenta con uno o dos lámparas funcionando, de la marca instalada inicialmente en Santa Clara, actualmente la gran mayoría usan otros tipos de lámparas uno de las lámparas más utilizadas es del tipo tubo fluorescente de 12 voltios dc y 10 vatios de la marca “Sundaya”. Otra de las marcas de lámparas más utilizadas son -PHILIPS- con una capacidad de 10 vatios, luz día, de una longitud de 42.5 centímetros.

Otras cargas: la instalación original cuenta con un convertidor de corriente directa a corriente directa de varias salidas de voltaje 3 voltios en corriente directa, 6 voltios en corriente directa y 9 voltios en corriente directa, esto con el fin de conectar algunas cargas con estos valores de voltaje, como en algunos hogares conectan un radio transistor de 9 voltios en corriente directa. También se identificaron algunos electrodomésticos tales como: televisores, equipos de sonidos, licuadoras, lo cual en algunos casos el sistema no soportó estas cargas debido que el sistema no fue diseñado para ello.

3.8.6. Evaluación y estado de las instalaciones en general

Según la evaluación realizada a los sistemas fotovoltaicos, después de diez años aproximadamente de su instalación, en la comunidad de Santa Clara, dieciocho viviendas ya no cuentan con este sistema debido a desperfectos, fallas por mal uso, o por tormentas eléctricas que dañó los sistemas.

El 22 por ciento de todas las viviendas aun cuentan con el sistema fotovoltaico en buen funcionamiento con todos sus accesorios bien instalados, esto se debe al buen mantenimiento y al buen uso que se le ha dado o en otros casos el componente que se ha dañado ha sido reemplazado con otro de características similares.

En la mayoría de sistemas evaluados, los reguladores fueron desconectados debido a que estos dejaron de funcionar (por tiempo de uso, sobre carga de los mismos), y los sistemas se encontraban conectados de manera directa, es decir, del panel a la batería y de ésta hacia las lámparas, varias lámparas se encontraban sin interruptores; en las conexiones realizadas de forma directa, se encontraban aisladas con nylon o en caso extremo no se encontraban aisladas.

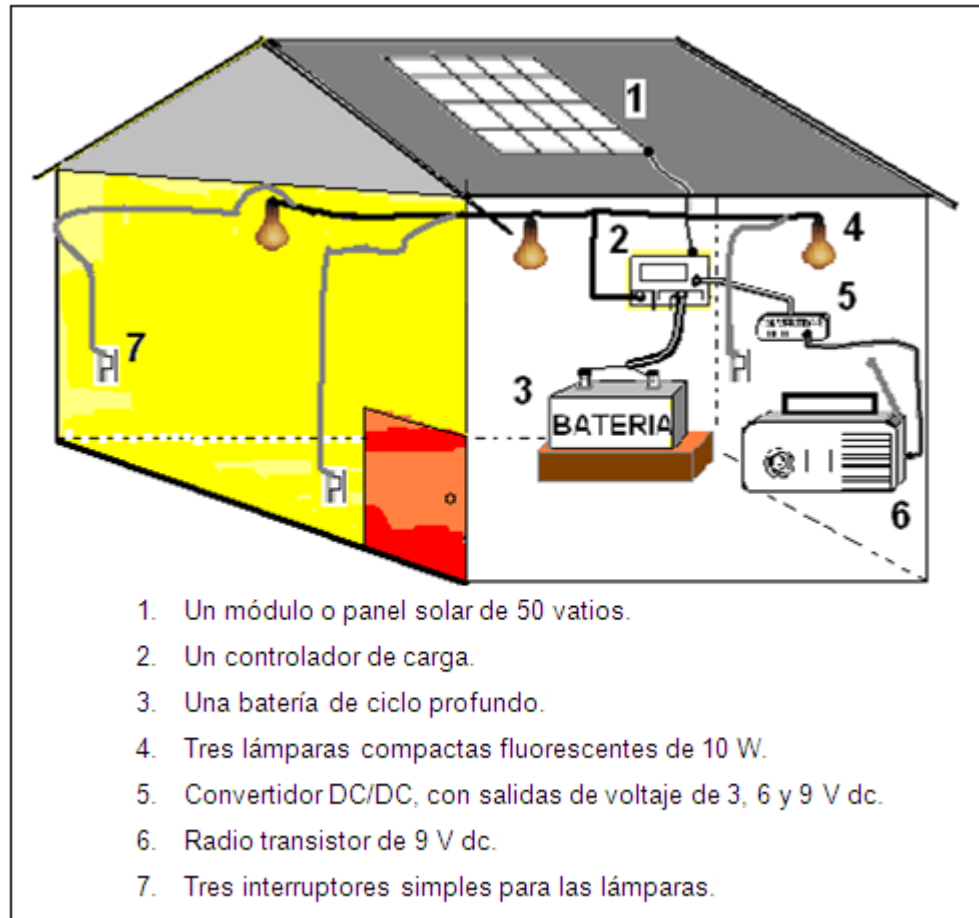
Las terminales de las baterías se encontraban flojas o sobrepuestas (sin usar terminales o tuercas), además los niveles de líquido en las baterías no se encontraban en el nivel correcto, los bornes de las baterías en su gran mayoría se encontraban sin limpiarlas.

Debido al tiempo de uso de las baterías, algunas fueron reemplazadas por los beneficiarios por baterías nuevas, en la que la capacidad de carga de estas baterías está entre 50 - 60 Amperio-hora, la cual es menor a la que fue diseñado el proyecto (105 Ah). Asimismo en varias viviendas reemplazaron la batería por una de automóvil lo cual se descarga muy fácilmente por no ser de aplicación fotovoltaica.

3.8.7. Elaboración de un esquema del sistema eléctrico actual

En la figura 14, se muestra un esquema de la instalación de un sistema fotovoltaico de una vivienda en la comunidad rural de Santa Clara, para la cual fue diseñada según los siguientes equipos y dispositivos eléctricos enumerados en la parte de abajo.

Figura 14. Esquema eléctrico de una vivienda del área rural



Fuente: elaboración propia.

En algunas viviendas cuentan con un inversor de DC a AC, para la carga de teléfonos celulares, en otras cuentan con un TV y equipo de sonido lo cual solo hacen uso de dichos equipos en un día muy soleado y en un tiempo muy corto debido que el sistema no fue diseñado para ello.

3.8.8. Recomendaciones para correcciones básicas en el sistema

De acuerdo a la evaluación realizada en el sistema fotovoltaico, en la comunidad rural de Santa Clara se hacen las siguientes recomendaciones para el uso adecuado de los equipos:

- No conectar los paneles directamente a la batería.
- Hacer uso del regulador o controlador de carga.
- No conectar las lámparas directamente a los bornes de la batería.
- Hacer uso de los interruptores.
- Utilizar conectores adecuados para los bornes de las baterías.
- No utilizar baterías de automóviles.
- No usar inversores hechos para automóviles.
- Conectar lámparas exclusivamente para uso fotovoltaico.
- Conectar únicamente aparatos para la cual fue diseñado el sistema fotovoltaico.
- No coloque la batería cerca de la cabecera de la cama o en la cocina y mucho menos cerca del fuego.
- Coloque la batería en un lugar ventilado y seguro. No la coloque directamente en el suelo.
- No haga conexiones si no tiene el conocimiento suficiente sobre la tecnología.

4. DIMENSIONAMIENTO Y PROPUESTAS DEL USO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL ÁREA RURAL

4.1. Requisitos de una instalación eléctrica

Los requisitos más importantes que deben de tomarse en cuenta para una instalación eléctrica en general no importando las dimensiones si es grande o pequeña, es necesario respetar los siguientes aspectos:

- Seguridad
- Eficiencia y economía
- Flexibilidad
- Poseer facilidad de mantenimiento y acceso
- Cumplir con las estipulaciones técnicas proporcionadas por normativos y reglamentos

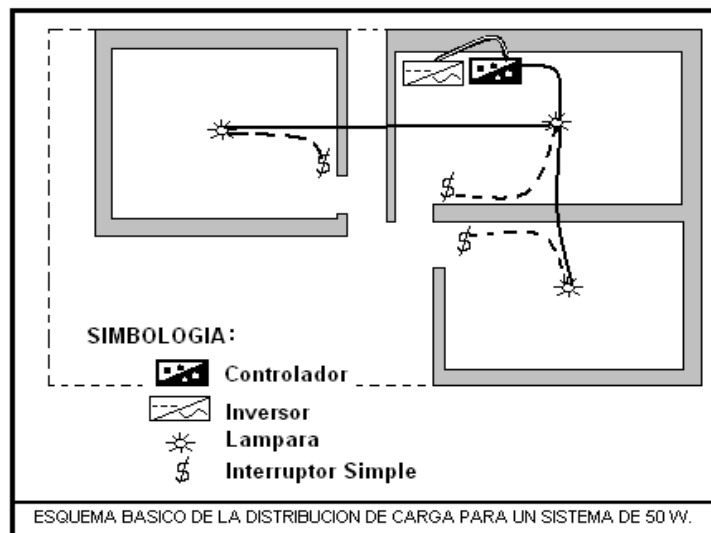
Por lo indicado anteriormente el objetivo de una instalación eléctrica es fundamentalmente cumplir con los servicios que fueron requeridos durante la etapa del proyecto, de forma segura, eficiente, además de ser económica, flexible y de fácil acceso para su mantenimiento.

4.2. Ubicación de cargas en una vivienda

Las cargas en una vivienda residencial, con un sistema fotovoltaico, se ubicaran lo más cercano posible a los componentes de transformación para evitar así los gastos extras de cables y otros accesorios necesarios para llevar la energía a los aparatos de consumo. También es importante recordar que para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo, consiste fundamentalmente en determinar el tamaño del sistema para abastecer las necesidades de energía eléctrica de una aplicación en concreto.

En la figura 15, se muestra un esquema de cargas de un sistema Fotovoltaico de 50 vatios, de la comunidad de Santa Clara, Chajul, Quiché.

Figura 15. **Esquema de cargas que soporta un sistema de 50 vatios**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Radiación solar para dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Una medida de la energía procedente del sol que se recibe fuera de la atmósfera terrestre sobre la unidad de superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares se denomina constante solar $B_0 = 1\,367$ vatios/m². No obstante este valor se ve ligeramente afectado por el movimiento de la tierra en torno al sol, así como por el efecto de la atmósfera terrestre.

Con la finalidad de especificar la radiación solar incidente en la superficie de la tierra se definen los siguientes conceptos:

Luz solar: es una forma de energía que está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda que abarcan el ultravioleta, el visible y el infrarrojo.

Irradiancia: es la densidad de potencia incidente por unidad de superficie, medida en vatios/metro cuadrado. La irradiación máxima del sol en la superficie de la tierra es aproximadamente del orden de 1 000 vatios/metro cuadrado. La irradiación varía diariamente por efecto de la rotación de la tierra alcanzando su valor máximo en días despejados a mediodía solar, también varía estacionalmente.

Irradiación: es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en kilo vatio hora por metro cuadrado (aunque la irradiación y la irradiación son magnitudes físicas distintas, coinciden numéricamente cuando la unidad de tiempo es la hora).

Es habitual medir la irradiación sobre un plano horizontal (por motivos de convenio internacional). Su valor anual varía en función de la latitud del lugar, groseramente desde los 800 kilo vatio hora por metro cuadrado en Escandinavia hasta los 2 500 kilo vatio hora por metro cuadrado en algunas zonas desérticas. La variación estacional (de enero a diciembre) puede variar entre un 25 por ciento para latitudes cercanas al ecuador hasta un factor 10 en lugares con latitudes elevadas (hacia el norte o sur del Ecuador).

Radiación directa: es la radiación proveniente directamente del sol.

Radiación difusa: corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera.

Radiación reflejada: es la radiación reflejada por el suelo (albedo).

Radiación global: es el resultado de la suma de todas ellas (cuando la medida de la radiación se realiza sobre una superficie horizontal no se tienen en cuenta la reflejada, en este caso a la suma de la directa y la difusa se le denomina radiación global).

Habitualmente la radiación directa se suele representar mediante la letra B (o I), la difusa mediante la letra D, la reflejada por la letra R y la global por la letra G. ($G=B+D+R$)

Factores que afectan la radiación solar

Atmosféricos: nubes, partículas suspendidas, contaminación.

Geográficos: rotación diaria, traslación, latitud y longitud.

4.4. Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo

El propósito del dimensionamiento del sistemas fotovoltaico autónomo es el cálculo de los elementos del sistema (básicamente potencia del generador Fotovoltaico, capacidad de la batería y cableado) para suministrar de modo fiable un determinado consumo eléctrico. Ello involucra el balance entre dos objetivos, normalmente opuestos, máxima fiabilidad y mínimo costo.

El correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo implica una armonía entre los tamaños del generador fotovoltaico y batería de acumulación. Por un lado cuanto más potencia de generador y más capacidad de batería se instalen para satisfacer un mismo consumo, se obtendrá un sistema con menor probabilidad de fallo, pero también aumentara su costo.

Por otro lado existen múltiples combinaciones entre potencia de generador y capacidad de batería que conducen a una misma probabilidad de fallo (así por ejemplo un sistema con una potencia muy elevada de generador Fotovoltaico necesita muy poca batería y viceversa). Además del óptimo económico de inversión inicial, es necesario tener en cuenta que un sistema con mucha potencia de generador Fotovoltaico en relación con la capacidad de la batería conducen un desperdicio de energía por encontrarse la batería completamente cargada.

En el caso de un sistema con excesiva capacidad de batería en relación con la potencia del generador fotovoltaico, se tendrán problemas para conseguir cargar la batería completamente, con los consecuentes efectos de degradación y reducción de su tiempo de vida.

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaico ha sido objeto de amplios y numerosos estudios teóricos, dando como resultado desde métodos simples hasta complejos modelos matemáticos, que se pueden encontrar en literatura.

Básicamente se pueden encontrar dos metodologías que a continuación se describen:

- Probabilidad de pérdida de carga LLP, de sus siglas en inglés (*Loss of Load probability*) es un método basado en un indicador, de que el sistema falle o no sea capaz de suministrar el consumo requerido. Por ejemplo una LLP del 1 por ciento indica que a largo término la disponibilidad del sistema para el consumo de diseño sería del 99 por ciento. Es un método basado en cálculos con ordenador. Se especifica el consumo de diseño, incluyendo los rendimientos del regulador de carga, del inversor y de carga de la batería.

Se trata de utilizar los modelos de los distintos componentes (radiación solar, generador, batería, regulador, etc.), para determinar cuanta energía del generador es necesaria para suministrar el consumo de diseño con una determinada fiabilidad o probabilidad de fallo. Esto depende del tamaño del generador, de la batería y de la radiación solar disponible. La LLP depende pues del tratamiento estadístico de los datos de radiación solar. Una vez que se obtienen diferentes combinaciones de batería/generador fotovoltaico, se ha de proceder a calcular los costos de los sistemas para la determinación de la configuración óptima.

Existen programas comerciales disponibles para realizar este tipo de dimensionamiento.

- Amperios-hora. Este método se basan en el cálculo del consumo diario en amperios-hora, teniendo en cuenta las pérdidas entre la batería, las cargas y el rendimiento de carga de la batería. La batería se dimensiona teniendo en cuenta el “número de días de autonomía”, entendiendo como aquel número de días durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación sin generación fotovoltaico (con radiación solar nula).

Para dimensionar el generador fotovoltaico y obtener su orientación óptima son necesarios los datos de irradiación del lugar de la instalación. En el caso más normal se supone un consumo constante durante todo el año, en cuyo caso se necesitan los valores diarios medios mensuales en el plano del generador para el peor mes del año y el ángulo óptimo de inclinación.

Mientras que este ultimo método se puede realizar con cálculos simples a mano, el primero requiere cálculos mediante ordenador.

Sea cual sea el método está basado en simples principios:

- Se dimensiona para que la producción del generador fotovoltaico sea igual al consumo (en valores promedio).
- Se dimensiona para que la batería pueda abastecer el consumo cuando no hay sol durante un determinado número de días consecutivos o días de autonomía (es recomendable tomar en promedio para los cálculos 5 días de autonomía).

Los pasos fundamentales en el proceso de dimensionamiento son:

- Determinación de los consumos.
- Cálculo de la radiación solar disponible sobre superficies en diferentes orientaciones (acimut, “a”, o ángulo que mide la desviación respecto del sur, y la inclinación, β , o ángulo formado por la superficie de los módulos y el plano horizontal).
- Cálculo de la capacidad de batería.
- Cálculo de la potencia necesaria del generador fotovoltaico.
- Selección del regulador de carga.
- Selección del inversor, si se utiliza.
- Dimensionamiento del cableado.

Existen numerosos procedimientos para realizar el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica autónoma. Presentaremos aquí un método simplificado. En este método se utilizan valores medios mensuales diarios de radiación global y de la carga. En este caso se considerarán sólo los valores correspondientes al mes más desfavorable (“mes peor”) en la relación carga/radiación.

4.4.1. Consideraciones previas

Previamente al procedimiento es necesario definir una serie de parámetros que el usuario debe determinar, estos son:

- N, el número máximo de días de autonomía previstos para la instalación en función de las características climatológicas de la zona y de la aplicación o uso final de la instalación.

A la hora de establecer N, es necesario considerar también las limitaciones económicas, ya que a mayor sea N, mayor será la inversión. En general N se determina a partir de la experiencia.

En la tabla IX, se da una estimación del número de días de autonomía, N, en función del tipo de instalación.

Tabla IX. **Estimación del número de días de autonomía, N**

Invierno	Instalación doméstica	Instalación crítica
Muy nubosos	5	10
variables	4	8
Soleados	3	6

Fuente: energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo. Instituto de estudios políticos para América latina y África, 1999.

- V_N , la tensión nominal de la instalación. La tensión (voltaje) nominal del sistema es normalmente la necesaria para las cargas más elevadas. Si predominan cargas AC, debe elegirse una tensión DC que sea compatible con la entrada del inversor. Si las demandas de potencia más elevadas son para el consumo de aparatos DC, debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor. Es necesario tener en cuenta que la determinación del voltaje también determina la corriente del sistema, que es necesario mantener en unos niveles aceptables.

Normalmente la corriente de cada circuito debe limitarse a 20A, con un total de 100A. El rendimiento de los inversores es mejor a tensiones más alto, como 48 voltios y 120 voltios.

La selección del inversor es importante e influye tanto en el costo como en el funcionamiento y la fiabilidad del sistema.

En general, según los documentos consultados recomiendan tensiones de 12 voltios para potencias menores de 1.5 kilo vatios, 24 voltios o 48 voltios para potencias entre 1.5 y 5 kilo vatios y 48 voltios o 120 voltios para potencias mayores de 5 kilo vatios.

DOD, es la profundidad máxima de descarga permisible para la batería. Es el porcentaje de la capacidad de la batería que puede ser descargado sin causar daños o una limitación de la vida útil de la batería. Por ejemplo una DOD del 70 por ciento indica que la batería se puede descargar un 70 por ciento antes de que el regulador de carga corte el consumo. Es necesario considerar que hay una dependencia inversa de la vida útil de la batería con la DOD.

4.4.2. Estimaciones de los consumos

Se trata de obtener el consumo medio diario, en amperios-hora por día, en la batería. Si este no es constante durante todo el año, se ha de calcular para cada mes.

Para determinar los consumos es necesario confeccionar un listado de los diversos aparatos conectados al sistema, el número de horas de uso diario y el voltaje nominal de operación de cada uno. En principio la determinación del consumo resulta claro y directo, únicamente se necesita calcular el consumo de energía de todos los dispositivos que se incluirán en el sistema fotovoltaico.

En la práctica, sin embargo, la demanda de energía resulta incierta porque a menudo se desconoce el período de tiempo en que funcionara cada aparato.

La energía diaria teórica requerida (carga diaria) se calcula sumando el producto entre la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno. Normalmente es suficiente con determinar el valor medio mensual del consumo diario, lo que equivale a suponer un valor de la carga diaria en vatios hora para cada mes. Se suelen separar los consumos en corriente continua de los consumos en corriente alterna, pues están afectadas de factores de pérdidas distintos.

La energía real necesaria, L^* , se calcula teniendo en cuenta las eficiencias de los distintos subsistemas y las pérdidas, de este modo:

$$L^* = \frac{L_{CC}}{\eta_g} + \frac{L_{Ca}}{\eta_g \eta_{inv}} \quad (3.1)$$

donde:

L_{CC}: carga diaria en corriente continua.

L_{Ca}: carga diaria en corriente alterna.

η_g : eficiencia carga descarga de la batería.

η_{inv} : eficiencia media diaria del inversor.

En la siguiente tabla X, se hace una estimación de consumos para algunas cargas típicas, separando las cargas de corriente continua y las de corriente alterna.

Tabla X. **Estimación de consumos para algunas cargas típicas**

No.de unidades	Tipo de Carga	Potencia	Horas de uso diario	Energía diaria Wh	
				DC	AC
3	Lámparas DC	11 vatios	3	99	
1	Radio transistor 9V DC	20 vatios	4	80	
1	T.V. 12 voltios DC	90 vatios	3	270	
1	computadora	150 vatios	2		300
1	Cargador de celular AC	24 vatios	2		44
Total (parciales de energía DC y AC)				449	344

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Estimación de la capacidad de la batería

La capacidad de la batería se calcula en función del número de días de autonomía (parámetro de diseño), N, y del consumo medio diario, L, de acuerdo con la expresión:

$$CB^* = \frac{L \cdot N}{DOD \eta_c} \quad (3.2)$$

donde:

- CB*:** es la capacidad de la batería, en vatios hora.
- L*:** es la energía real necesaria, en vatios hora.
- N:** número de días de autonomía.
- DOD:** máxima profundidad de descarga de la batería.
- η_c :** pérdidas en los cables.

El valor del consumo expresado en amperios/día se puede obtener como:

$$L = \frac{L^*}{V_{SN}} \quad (3.3)$$

donde:

V_N es la tensión nominal de la batería.

Si el valor de L no es constante para todos los meses del año se tomará su valor máximo.

El tamaño del sistema de acumulación CB , expresado en Ah, se obtiene a partir de CB^* , como:

$$CB = \frac{CB^*}{V_N} \quad (3.4)$$

4.4.4. Cálculo de la potencia nominal del generador fotovoltaico

El dimensionamiento de la batería se ha realizado en base al número de días de autonomía. El dimensionamiento del generador fotovoltaico se basa en suministrar a las instalaciones el consumo medio diario.

El tamaño del campo o conjunto de paneles, o potencia pico de la instalación, se calcula teniendo en cuenta la radiación solar disponible.

Para ello es necesario conocer los valores de la radiación media mensual sobre superficie horizontal $G_{dm}(0)$ y poder estimar los valores sobre superficies inclinadas; tema que esta fuera del alcance de este trabajo.

Un parámetro importante es la orientación (acimut e inclinación) del generador fotovoltaico. En general conviene tener el generador fotovoltaico orientado hacia el ecuador terrestre (hacia el sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio sur), $\alpha=0$.

El ángulo de inclinación del generador fotovoltaico respecto de la horizontal, β , para estructuras sin seguimiento solar vendrá determinado por aquel valor que optimice la generación fotovoltaico respecto del consumo. El ángulo óptimo de inclinación del generador fotovoltaico se determina como aquel en el que se obtiene la mayor radiación en el peor mes del año (en relación con el consumo para cada mes).

Resulta conveniente utilizar el concepto de horas de sol pico (HSP): entendido como el número de horas de sol en media diaria a una radiación de 1000 vatios por metro cuadrado. Es equivalente a la energía total diaria incidente sobre una superficie horizontal en kilo vatios hora por metro cuadrado/día:

$$(HSP)_{\alpha,\beta} = G_{dm,\alpha,\beta} \quad (3.5)$$

donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ está en kWh/ m²/día. (así por ejemplo para el mes de Diciembre y a 50 grados orientado al sur $G_{dm}(0,50) = 3,6$ kWh/ m²/día).

Se utiliza el valor de HSP para el mes más desfavorable. Con este valor, y teniendo en cuenta los vatios pico de un panel se calcula el número de paneles necesario, de acuerdo con la expresión:

$$N^{\circ} \text{módulos FV} = \frac{L^*}{W_p (HSP)_{\alpha} (1 - \eta_d)} \quad (3.6)$$

donde:

- L*:** es la energía diaria real necesaria.
- W_p:** los vatios pico de módulo Fotovoltaico que se utiliza en la instalación
- (HSP)_{α β}:** son las horas de sol pico incidentes sobre el plano de los paneles (β es el ángulo de la inclinación sobre la horizontal y α la orientación respecto del sur).
- η_d:** es un factor global de pérdidas que se produce en el generador fotovoltaico.

En este factor global de pérdidas están contempladas las pérdidas por conexión y dispersión de parámetros, las pérdidas debidas al punto de trabajo del sistema, que en general no coincide con el punto de máxima potencia de los paneles. Contempla también la disminución de potencia entre la nominal y la real de los módulos. En este punto hay que recordar que los fabricantes aseguran una potencia pico nominal ± 10 por ciento.

Teniendo en cuenta todos estos factores las pérdidas de potencia del generador son al menos de un 25 por ciento.

4.4.5. Otras consideraciones

El generador fotovoltaico estará formado por un determinado número de módulos Fotovoltaico contenidos en serie, N_{ms} , y en párelo, N_{mp} . El número de módulos en serie vendrá determinado por la tensión nominal del sistema, siendo el número entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión del punto de máxima potencia del módulo Fotovoltaico seleccionado.

$$N_{ms} = \frac{V_N}{V_m} \quad (3.7)$$

Para calcular el número de módulos conectados en serie se determina mediante el cociente entre la corriente de diseño y la corriente del punto de máxima potencia del módulo seleccionado.

$$N_{mp} = \frac{W_p/V_m}{I_m} \quad (3.8)$$

donde:

W_p es la potencia pico del generador fotovoltaico, obtenido en la ecuación (6).

El número de baterías en serie, N_{BS} , se puede calcular como el cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal de cada batería, V_B .

$$N_{BS} = \frac{V_N}{V_B} \quad (3.9)$$

Aunque no es recomendable la utilización de baterías conectadas en paralelo, debido esencialmente a que la degradación de los vasos de batería no es homogénea, en caso de ser necesario, el número de baterías en paralelo se puede obtener como el cociente entre la capacidad necesaria de batería, C_B , obtenida en la ecuación (4) y la capacidad de cada vaso o elemento de batería seleccionada, C_{BN} .

$$N_{BP} = \frac{C_B}{C_{BN}} \quad (3.10)$$

El regulador de carga se ha de seleccionar en función de la tensión nominal del sistema y de la corriente de operación. Es recomendable que la corriente máxima de operación del regulador, I_R , sea como mínimo un 20 por ciento superior a la máxima corriente nominal del sistema.

$$I_R = 1.2 \frac{W_p}{V_m} = 1.2 N_{mp} I_m \quad (3.11)$$

En el caso de incluir consumos en corriente alterna será necesario disponer de un inversor DC/AC. Es necesario seleccionarlo en función de la potencia de los consumos que puedan operar simultáneamente, pero teniendo en cuenta también la capacidad de sobrecarga y el factor de potencia.

El cableado ha de dimensionarse adecuadamente con el objeto de minimizar las caídas de tensión en la instalación. Para ello es necesario seleccionar el tipo de cable (tipo de aislamiento, resistencia intemperie, etc.), su longitud y su sección.

La longitud del cableado depende en gran medida del emplazamiento de la instalación. Se ha de procurar minimizar las longitudes de cableado entre los distintos elementos que componen la instalación. La selección de los conductores se calcula en función de la longitud de los cables y de la corriente que circula por ellos. Se recomienda los valores especificados a continuación:

- Caídas de tensión máxima entre generador y regulador/inversor: 3 por ciento
- Caídas de tensión máxima entre regulador y batería: 1 por ciento
- Caídas de tensión máxima entre inversor y batería: 1 por ciento
- Caídas de tensión máxima entre regulador e inversor: 1 por ciento
- Caídas de tensión máxima entre inversor/regulador y cargas: 3 por ciento

Se ha de incluir toda la longitud de cables necesaria (parte continua y/o alterna) para cada aplicación concreta evitando esfuerzos sobre los elementos de la instalación.

Es recomendable una separación de los circuitos positivos y negativos de la parte DC de la instalación. Se ha de proteger y señalar (códigos de colores, etiquetas, etc.), de acuerdo a la normativa vigente.

4.4.6. Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento fotovoltaico

A continuación se da un ejemplo del dimensionamiento de un sistema autónomo, supongamos que deseamos realizar el dimensionamiento de una instalación cuyos consumos se indican en la tabla XI. Aplicando el método anterior, se obtiene lo siguiente:

Tabla XI. Datos de consumo medios diarios en DC y AC

Tipo de Carga	No. de Unidades	potencia	Uso	Energía diaria Wh	
				DC-Wh/día	A C- Wh/día
Lámparas DC	3	11 W	3 h/día	99	
Radio transistor 9V DC	1	20 W	4 h/día	80	
T.V. 12 voltios DC	1	90 W	2 h/día	180	
computadora	1	150 W	2 h/día		300
Cargador de celular AC	3	24 W	2 h/día		44
Energía Total diaria (parciales de energía DC y AC)				359	344

Fuente: elaboración propia.

Datos: consumo medio diario: en DC= 359 Wh/día y en AC = 344 Wh/día; rendimiento carga/descarga de batería = 0.86; rendimiento inversor = 0,9; días de autonomía = 3; tensión nominal del sistema = 12 Vdc; máxima profundidad de descarga = 70 por ciento.

Resultados:

De la ecuación (1) se calcula la energía real necesaria:

$$L^* = \frac{L_{cc}}{\eta_g} + \frac{L_{ca}}{\eta_g \eta_{inv}} = \frac{359}{0,86} + \frac{344}{0,86 \times 0,9} = 861,88 \text{ Wh/día}$$

De la ecuación (2) calculamos la capacidad de la batería:

$$CB^* = \frac{L^* N}{DOD \eta_c} = \frac{861,88 \text{ Wh/día} \times 3 \text{ días}}{0,7 \times 0,9} = 4104 \text{ Wh}$$

entonces calculando la capacidad de la batería en amperios-hora tenemos de la ecuación (4):

$$CB = \frac{CB^*}{V_N} = \frac{4\,104 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 342 \text{ Ah}$$

Se considera que se utilizan los módulos fotovoltaico de 55 vatios pico de potencia nominal y disponemos de una radiación solar de 3.5 kilo vatio hora por metro cuadrado/día (3,5 horas de sol pico) para el mes peor. El número total de módulos será:

$$N^{\circ} \text{módulos FV} = \frac{L^*}{W_p (HSP)\alpha (1 - \eta d)} = \frac{861,88}{55 \times 3,5 \times (1 - 0.25)} \cong 6$$

donde se están suponiendo unas pérdidas del 25 por ciento en el generador fotovoltaico.

4.5. Usos del sistema fotovoltaico en la comunidad rural

La energía solar en la comunidad rural tiene muchas aplicaciones útiles y productivas tales como: electrificación rural, bombeo de agua, telecomunicaciones, centros de salud comunitarios, sistemas de energía para escuela, telesecundarias, puestos de control, centros de acopio.

Por lo anteriormente descrito en una comunidad rural funcionaria bien las siguientes aplicaciones: sistema de comunicación; el kit deberá de incluir una antena satelital, *router wifi*, 5 computadoras y teléfono IP.

La antena se conecta mediante un *router wifi* a las computadoras y a un teléfono IP. Esta antena permitirá la conexión a internet vía satélite incluso en las comunidades más remotas o aisladas.

Se deberá capacitar a la comunidad para la utilización de internet como herramienta de comunicación y acceso a la información. El teléfono permitirá la comunicación de la comunidad con el exterior. Adicionalmente, se proveerá a las comunidades de un equipo multifunción (fax, impresora y escáner) que hará posible el envío y recepción de documentos (partidas de nacimiento, fotos, certificados de matrimonio, contratos de compraventa, etc.).

Centros de salud comunitaria: el kit deberá incluir un refrigerador y un purificador de agua. El suministro de un refrigerador permitirá el mantenimiento de la cadena de frío de las vacunas y la conservación de sueros y medicamentos.

Se dispondrá de un purificador de agua que permitirá mejorar la prevención y el tratamiento de enfermedades entre los miembros de la comunidad. Además en la comunidad podrán utilizarse los elementos de conectividad del kit para actividades de telediagnóstico, donde un médico se podrá conectar mediante un horario determinado para resolver las consultas de la comunidad y también servirá para el acceso a información médica.

Componente educativo y cultural: un kit educativo y cultural deberá incluir, 5 computadoras conectadas a internet y un proyector que permitirá acceder a programas tele-educativos proporcionados por El ministerio de Educación de Guatemala.

El programa promocionara actividades educativas y culturales entre todos los habitantes de la comunidad, en especial entre las mujeres También se podrá desarrollar tareas de alfabetización para adultos.

Componente social y productivo: se utilizaría para instalar iluminación en las zonas comunitarias para disponer de un espacio de socialización después de la jornada laboral, así como alargar la actividad más allá de las horas de luz natural, lo que permitirá incrementar la actividad productiva de la comunidad.

Se podrá trabajar con la comunidad para fomentar el desarrollo social y productivo utilizando los elementos del kit. Por ejemplo, los elementos de conectividad y de acceso a las tecnologías de la información permitirán reducir el aislamiento y la creación de bolsas de productos agrícolas, el acceso a precios de semillas, abonos, ganado, la venta directa de productos, la difusión de la comunidad a través de la web, la potencia del turismo rural, etc.

Mediante un proyector se podrán ver documentales, películas etc., que desarrollarán los valores culturales y de ocio de la comunidad.

4.6. Requerimientos de los nuevos equipos

Es importante conocer las siguientes especificaciones técnicas y no técnicas de forma general, para adquirir los equipos de un sistema fotovoltaico; tanto para el módulo, batería, controlador, inversor, etc.)

Módulos fotovoltaicos: criterios de Selección

- Técnicos
 - Tecnología

- Clima
- Capacidad del arreglo
- Certificación (IEC 61215, IEEE 1262, UL, etc.)
- No Técnicos
 - Costo
 - Garantía
 - Representación Local
- Banco de baterías: requerimientos
 - Larga vida
 - Capacidad de descarga profunda
 - Largo ciclo de utilización (largos períodos con carga baja)
 - Alta eficiencia de carga-descarga
 - Muy baja auto- descarga
 - Bajo costo
 - Bajo mantenimiento

A continuación se dan algunas ventajas y desventajas de los tipos de baterías más utilizadas en un sistema fotovoltaico.

Baterías plomo- ácido

Ventajas

- Son las más comúnmente usadas por su bajo costo
- Las hay abiertas, selladas y con gel
- Eficiencia de carga ≈ 85 por ciento
- Su capacidad incrementa en regímenes de descargas lentos

Desventajas

- Susceptibles a la sobrecarga y a la sobredescarga
- Los regímenes de carga y descarga rápidos reducen su capacidad

Baterías Níquel- Cadmio

Ventajas

- Soportan la sobrecarga y la sobredescarga
- Soportan carga y descarga rápidas
- Buen desempeño a bajas temperaturas
- Vid útil más larga
- Bajo mantenimiento
- Muy baja autodescarga

Desventajas

- Alto costo
- Menor eficiencia de carga (75 por ciento)
- Efecto de memoria

Controlador o regulador de carga: características

Normalmente es un controlador electrónico especialmente diseñado para la configuración del sistema y los componentes que lo integran.

Regula la operación de los subsistemas que componen el sistema, con base en algoritmo de optimización de recursos (minimización de costos).

Los algoritmos de optimización deben considerar las restricciones de operación de cada uno de los componentes.

Control de carga de baterías: requerimientos

- Control de carga de acuerdo al tipo de batería (2 etapas para batería plomo-ácido)
- Con compensación por temperatura
- Puntos de control de acuerdo con el tipo de batería
- Bajo auto consumo
- Protección contra sobre corriente (carga y descarga)
- Protección contra conexión en polaridad inversa
- Protección contra sobre voltajes inducidos

Criterios en el diseño/integración

- Tipo de baterías
- Temperatura y medio ambiente de operación
- Capacidad del sistema
- Sensor de temperatura interno o externo
- Puntos de control requeridos
- Ajustabilidad de los puntos de control
- Salidas de control opcionales, alarmas, etc.
- Tipo de elementos de conmutación (electromecánico o de estado sólido)
- Garantía, servicio postventa

Inversor: la necesidad de un inversor en un sistema fotovoltaico es inevitable, ya que los paneles solares generan la energía en corriente continua. Su misión es la de transformar la energía a las condiciones que necesitamos.

Existe una variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. A la hora de elegir un inversor, el primer paso será en conocer la primera división que se hace de los muchos tipos de inversores que se comercializan en la actualidad. Existen los que se aplican en sistemas aislados con demandas energéticas variables, y también los empleados en instalaciones conectadas a la red eléctrica, a los cuales se les exige una baja producción de armónicos (distorsiones), su adaptación a cualquier red eléctrica (frecuencia y fase) y una generación de energía con alto factor de potencia.

Por lo que para una buena elección se debe de tener presente los siguientes datos generales:

Requerimientos:

- Eficiencia > 90 por ciento del 20 por ciento al 100 por ciento de su capacidad
- Calidad de la energía de acuerdo con los requerimientos de la carga
- Protección contra sobre corriente
- Protección contra sobre voltajes

Criterios de selección:

- Calidad de la energía requerida (senoidal, onda cuadrada, etc.)
- Operación unidireccional ó bidireccional
- Capacidad requerida
- Temperatura y medioambiente de operación
- Salidas de control oposicionales, alarmas, etc.
- Garantía, servicio post venta, etc.

5. DOCUMENTACIÓN DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.1. Operación general de un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico, es un sistema de generación de electricidad que aprovecha la radiación solar para la transformación de la energía del sol en energía eléctrica, el sistema consiste en un conjunto de elementos de ciertas características conectados convenientemente que convierten la radiación solar en electricidad y está integrado por los siguientes componentes:

Panel o módulo solar: es el elemento que genera la energía eléctrica durante las horas de sol, es decir, es el que se encarga de convertir los rayos del sol en corriente eléctrica, mediante el proceso fotovoltaico. Los paneles comercialmente vienen en unidades de 12 voltios y con potencias que están entre los 10 a 250 vatios.

Batería: la batería almacena la energía producida por el panel solar durante el día, esta energía puede ser utilizada para iluminación, para hacer funcionar equipos como televisores, radios, equipo de telecomunicaciones, sistemas de refrigeración en puestos de salud entre otros.

Las baterías utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son del tipo de descarga profunda o ciclo profundo que permiten descargar el 80 por ciento de su carga. Las baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos para iluminación domiciliar, regularmente son de 12 voltios.

Regulador o controlador de carga: es un dispositivo electrónico cuya función es proteger la batería y el panel. El controlador de carga conecta y desconecta el paso de corriente del panel a la batería, para cargarla cuando la carga esté baja, y la protege para que no se descargue completamente.

Inversor: es un dispositivo que transforma el voltaje de la batería de 12 voltios de corriente directa a 120 voltios en corriente alterna, para que en él se puedan conectar aparatos que utilicen un voltaje de 120 voltios.

5.2. Definición de mantenimiento

Se puede definir genéricamente al mantenimiento como la conservación ó protección de componentes o equipos para una condición determinada, especialmente en lo que se refiere a su eficiencia y bajo costo de operación.

5.2.1. ¿Por qué se debe realizar el mantenimiento?

Existen varias razones por las cuales un sistema fotovoltaico debe tener un servicio organizado de mantenimiento de sus instalaciones y equipos, una de ellas es el hecho de que el abastecimiento de energía eléctrica constituye, sin lugar a dudas uno de los servicios más importante en la sociedad y no puede tener interrupciones imprevistas, otra razón consiste, en que una vez implantado el mantenimiento, los costos se reducen.

5.2.2. ¿Qué ventajas tiene el mantenimiento?

Entre las principales ventajas del mantenimiento, podemos mencionar las siguientes:

- Mejor conservación de los equipos
- Aumento de la calidad del servicio
- Disminución de paralizaciones imprevistas
- Disminución de reparaciones
- Reducción de costos

Definiciones

Inspección: actividad sistemática de verificación periódica de las estructuras, módulos, batería, equipos, etcétera, que sirve para detectar condiciones que puedan causar su interrupción o deterioro excesivo.

Servicio: realización de acciones rutinarias orientadas a mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento y a prevenir desperfectos de mayor envergadura y costo. Entre estas actividades están las siguientes: adición de líquido a las baterías, ajustes, limpieza, pintura, etcétera.

Reparaciones: restauración o reemplazo de las partes defectuosas, identificadas ya sea por inspecciones o por interrupciones del servicio, para ponerlas en buenas condiciones de funcionamiento.

Modificación: alteración del diseño original del sistema de generación fotovoltaico o cambio de equipos con miras a reducir el costo y aumentar la eficiencia del servicio de energía eléctrica.

Sustitución: instalación de unidades nuevas en lugar de las existentes, que se han vuelto obsoletas y que muchas veces se tornan antieconómicas o ineficaces debido al uso excesivo, o generan costos elevados de mantenimiento por su mal funcionamiento.

5.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, ayuda a prevenir los daños, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas. Su objetivo básico es garantizar la disponibilidad de la instalación para un servicio continuo de energía eléctrica.

La finalidad del mantenimiento preventivo es, encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas.

5.4. Mantenimiento correctivo

Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación afectada por el fallo.

Mantenimiento correctivo programado y no programado: existen 2 formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los equipos de reemplazos necesarios.

5.5. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es, precisamente, la predicción; es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el estado de una

instalación. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo ó instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o predecir, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por ese motivo se denominan técnicas predictivas. Con este tipo de mantenimiento se logra el máximo tiempo de operación del equipo.

5.6. Instructivo de capacitación para las personas en sus viviendas

Es necesario que las personas mantengan el sistema fotovoltaico en óptimas condiciones, por lo que es importante darle el uso y el mantenimiento para que funcione todo el sistema adecuadamente, a continuación se listan los cuidados y el buen uso que se debe de dar a cada equipo que forma parte del sistema de generación fotovoltaico:

5.6.1. Uso y cuidado del sistema fotovoltaico

El uso que se le da al sistema fotovoltaico, incide en gran manera tanto en el rendimiento como en la vida útil de los equipos dado, que si se sobre carga el sistema esto ocasionará que la vida útil de todo el equipo disminuye, por lo que a continuación se describe el uso y cuidado de los principales componentes.

5.6.1.1. Módulo o panel solar

Los paneles solares están formados por un conjunto de celdas (célula fotovoltaica) que producen electricidad a partir de la luz del sol que incide sobre ellos. Tienen una vida útil de entre 20 a 30 años, tiempo que depende mucho del cuidado y mantenimiento del equipo.

Para el uso adecuado de los paneles solares es importante tener presente los siguientes aspectos:

- Al instalar los paneles fotovoltaicos es necesario que tenga una inclinación que permita captar al máximo la radiación solar.
- Depende de la posición del lugar con respecto al sol. Los paneles no deben de instalarse nunca en una posición plana.

¡Nunca intente cambiar la posición de los paneles!

En la figura 16, se muestra la forma correcta de instalación de un módulo fotovoltaico lo cual debe de llevar una inclinación y una posición respecto del sol para que permita captar la mayor radiación solar durante el día.

Figura 16. **Instalación correcta e incorrecta de los paneles**

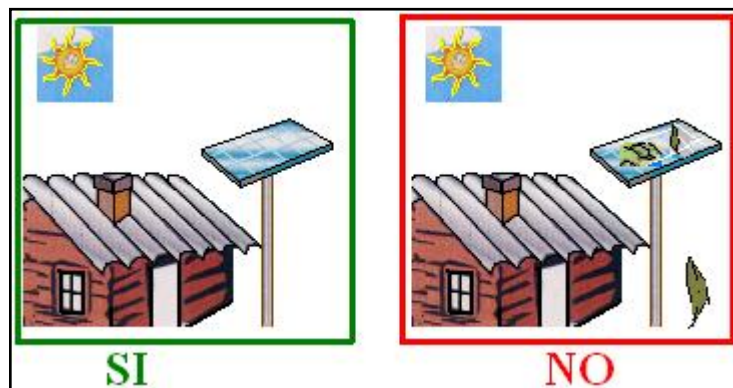


Fuente: comunidad de Santa Clara.

Durante el funcionamiento, hacer una limpieza de los paneles cada dos meses. Tener el área de incidencia solar libre de ramas. Ya que si se tapan ó sombrean disminuye la energía generada. ¡Nunca deben de taparse o sombreadse los paneles!

En la figura 17, muestra que los paneles deben de estar libres de cualquier objeto o suciedad que impida la radiación solar directa al panel, es importante mantener limpio el panel solar.

Figura 17. **Mantener libre la incidencia del sol sobre los paneles**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

Los paneles fotovoltaicos aprovechan la luz del sol para generar electricidad. Sin embargo, cuando aumenta la temperatura del panel disminuye la electricidad producida.

¡A medida que el panel se sobre calienta, su generación de energía eléctrica disminuye!

¡Limpiar el panel o módulo fotovoltaico!

Se recomienda: para el buen uso y cuidado de los paneles lo siguiente:

- Asegurar que los paneles estén colocados correctamente a los soportes y que nada se encuentre visualmente fuera de lo normal o desalineado.
- Realizar inspecciones visuales de los paneles para así poder detectar grietas, roturas, oxidaciones y otros defectos físicos.
- Limpiar el polvo acumulado e insectos en los paneles, para su buen funcionamiento y rendimiento. La limpieza debe realizarse preferentemente en horas de la tarde o noche para no afectar el sistema.
- Limpiar el panel cada dos meses, con un trapo húmedo con agua eliminando todo el polvo y cosa extraña sobre el panel.

Figura 18. **Limpieza del módulo o panel**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

5.6.1.2. Batería

Las baterías almacenan la energía que se produce durante el día para utilizarla cuando se necesita, como por ejemplo en las noches o en los días nublados. Existen baterías de ciclo profundo como las baterías de gel, selladas que son libres de mantenimiento durante toda su vida útil; y otras que requieren mantenimiento como las baterías no selladas, la cual alcanza entre 3 hasta 5 años de vida útil que depende de su buen uso y cuidado.

La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

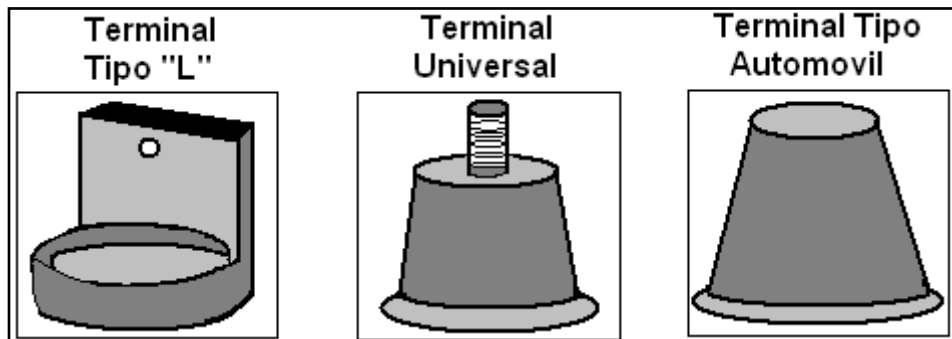
Para el uso adecuado de las baterías: es importante tener presente los siguientes aspectos:

Las baterías son los componentes más sensibles e importantes del sistema de generación de un sistema fotovoltaico, ya que permite el almacenamiento de la energía y su consumo a través de los diferentes equipos y aparatos que se conectan al sistema de generación fotovoltaico.

Los polos o terminales de la batería representan el único punto de contacto entre el sistema eléctrico híbrido y las celdas que almacenan la energía. Los polos (bornes) o terminales pueden ser de diferentes tipos y su mantenimiento es muy importante.

En la figura 19, se muestran los diferentes tipos de polos o terminales de baterías más comunes en los sistemas fotovoltaicos de las que hay de tipo "L", tipo universal y tipo automóvil.

Figura 19. **Tipos de polos o terminales de baterías**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas.

Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

El fabricante en una etiqueta nos indica datos importantes tales como la capacidad en amperios hora, esto nos indica la cantidad de electricidad que puede entregar la batería en un tiempo determinado.

El rango de temperatura para un buen funcionamiento de la batería es de 20 a 25 grados centígrados, temperaturas más altas de trabajo reducen seriamente su vida útil y temperaturas más bajas reducirán su capacidad disponible de energía.

Las descargas demasiado profundas disminuyen la vida útil de la batería, en la práctica se expresa en un menor número de ciclos de carga/descarga que la batería puede resistir.

Normalmente la descarga no debe prolongarse por debajo de las especificaciones dadas por el fabricante.

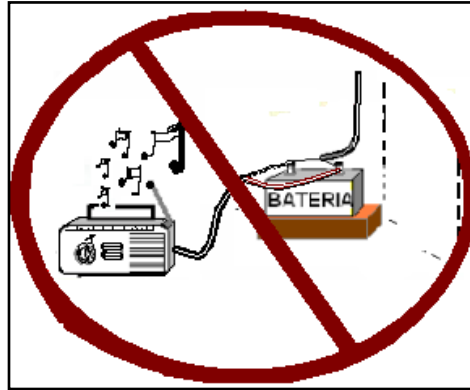
Este problema se evita con la instalación de un regulador de carga en el sistema, ya que controla la descarga y sobre carga de la batería.

¡Evitar las descargas demasiadas profundas!

En la figura 20, se muestra que no debe de conectarse las cargas directas a los polos de la batería, debido que esto provoca descargas demasiado profundas y reduce la vida útil de la batería.

Es necesario conectar un controlador de carga en la instalación. El controlador desconecta un equipo cuando el nivel de carga de la batería disminuye.

Figura 20. **Evitar las descargas demasiado profundas**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas baterías libre de mantenimiento, no lo necesitan.

En la figura 21, se muestra el mantenimiento interno que se debe de dar solo a las baterías no selladas.

Figura 21. **Mantenimiento interno solo a baterías no selladas**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

Las baterías selladas no requieren mantenimiento interno, todo lo contrario, con relación a las baterías inundadas o no selladas.

El mantenimiento externo es de vital importancia tanto en baterías selladas y no selladas, se debe verificar las conexiones y limpieza de las terminales de las baterías cada cierto tiempo.

Las baterías selladas en caso de sobrecarga, también pueden emitir gases y en ocasiones hasta explotar.

En la figura 22, se indica que no se debe utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos, debido que el diseño interno de estas baterías varía grandemente y no son diseñados para las descargas y cargas profundas.

¡No utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos!

Figura 22. **No utilizar baterías de automóviles**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

Se recomienda:

- No utilizar baterías de automóviles, motos, camiones o de tractores para almacenar la energía generada en el sistema solar. Estas baterías entregan energía en corto período de tiempo y tienen una vida útil menor.
- Nunca desconectar la batería en pleno proceso de carga y descarga. Las baterías fueron diseñadas para tener un uso continuo durante toda su vida útil, cumpliendo ciclos de carga/descarga.
- Se sugiere que bajo ninguna razón se mantengan las baterías desconectadas por más de 6 meses, ya que esto podría dañar la batería para siempre.
- No instalar las baterías en lugares expuestos al sol, el calentamiento disminuye rápidamente su vida útil. Instalar las baterías en un lugar cerrado, con sombra y con mucha ventilación.
- Evitar que las baterías se instalen directamente sobre el suelo o totalmente pegadas a paredes o muros. Esto hace más difícil la ventilación y puede aumentar la humedad en las cubiertas de las baterías.
- Colocar el banco de baterías sobre estanterías especiales, de tal manera que se evite el contacto entre las baterías dejando un espacio de separación entre ellas.

- Tomar todas las precauciones y cuidados al realizar la limpieza de la batería. La forma de gel del electrolito, no es más que el ácido inmovilizado, es sumamente tóxico y puede causar quemaduras a la piel humana.
- Realizar la limpieza de las baterías periódicamente, con un paño seco. El recipiente plástico puede limpiarse con agua pura.
- Nunca se debe permitir la acumulación excesiva de polvo o de humedad que puedan causar fugas de corriente. Estas fugas no solamente ocasionan pérdidas de energía sino que también pueden resultar ser peligrosas.
- Evitar el deterioro completo de las baterías. Se recomienda realizar siempre un control visual de los aspectos externos, como: las conexiones atornilladas y de apriete, las instalaciones y disposiciones de las baterías.

¡Recuerde! Esto no significa que el usuario debe olvidarse por completo de las baterías hasta que dejen de funcionar y sea hora de reemplazarlas.

- Al reemplazar las baterías del sistema, es necesario sustituir todas las unidades por baterías de un solo tipo. Seleccione las baterías con las mismas características técnicas que las existentes, ya que existen muchos tipos de baterías y la manera de funcionar no siempre es la misma.
- Almacenar las baterías cargadas completamente en lugares frescos, secos y protegidos de la luz solar directa. Se debe almacenar cuando las baterías no sean utilizadas durante un período mayor de 6 meses.

- Inspeccionar la temperatura de las baterías y del recinto o lugar donde se encuentran, por lo menos 2 veces por año.
- Una diferencia mayor de 5 grados centígrados entre baterías, indica que existen problemas, se recomienda al gestor contactar al servicio técnico para resolverlo, si considera que no requiere remplazo.
- Realizar una vez al año, las siguientes medidas adicionales de monitoreo y mantenimiento:
 - Control visual general.
 - Las terminales deben estar bien asentadas y aseguradas.
 - Instalación, disposición y espaciamiento de las baterías.
 - Ventilación del cuarto de baterías.
 - Fortaleza y resistencia de la estructura o estantería de soporte de las baterías.

5.6.1.3. Regulador ó controlador de carga

El regulador o controlador de carga es un dispositivo electrónico y cumple las siguientes funciones:

- Evita que la batería se sobrecargue.
- Evita la descarga profunda de la batería, corta la corriente cuando el voltaje llega a un valor mínimo.
- Asegura que el voltaje de la batería no sea mayor al de los equipos conectados.
- Evita que la corriente pueda fluir de la batería hacia el módulo fotovoltaico en períodos sin sol.

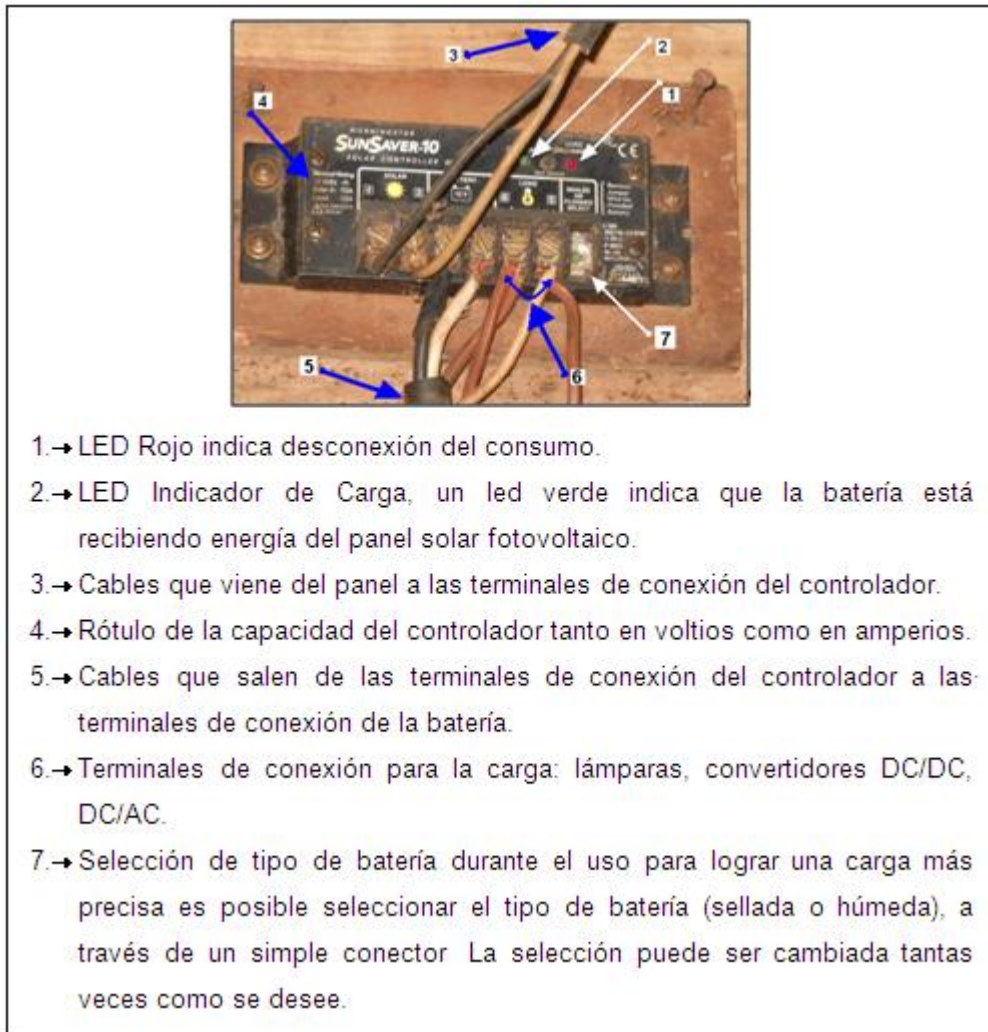
- Asegura la vida útil de la batería. Su vida útil se estima en unos cinco años promedio.

Como ya se mencionó anteriormente el regulador ó controlador se encarga de proteger a las baterías de las descargas cuando hay un demasiado consumo de energía y de la sobrecarga de los paneles. Por eso es de vital importancia conocer los indicadores que este posee ya que nos da los avisos del estado de nuestro sistema fotovoltaico.

En la comunidad de Santa Clara, poseen este tipo de controlador por lo que se hace referencia de los indicadores que este regulador ó controlador posee.

En la figura 23, se muestra las partes más importantes y los indicadores de un controlador típico de la comunidad de Santa Clara. Los leds indican el estado de la batería cuando se encuentra bajo carga y cuando la batería se encuentra totalmente cargada.

Figura 23. **Controlador típico en las viviendas de Santa Clara**



Fuente: comunidad de Santa Clara.

5.6.1.4. **Inversores**

Los inversores se encargan de convertir la corriente directa (CD) producida por el sistema fotovoltaico en corriente alterna (AC) para uso en los aparatos o equipos que necesiten este tipo de corriente.

A la hora de elegir un inversor, deberá ser de uso exclusivo para sistemas fotovoltaicos aislados como es el caso de la comunidad de Santa Clara, existen inversores con diversos tipos de calidad y capacidad energética, en este caso dependerá de la capacidad de todo el sistema ya instalado. El uso del inversor permite la utilización de televisores pequeños, teléfonos celulares, computadoras portátiles ó algún otro aparato con baja potencia de consumo.

En la figura 24, indica que se debe de utilizar inversores de uso exclusivos para sistemas fotovoltaicos.

Figura 24. **Utilizar inversores para aplicaciones en sistemas fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

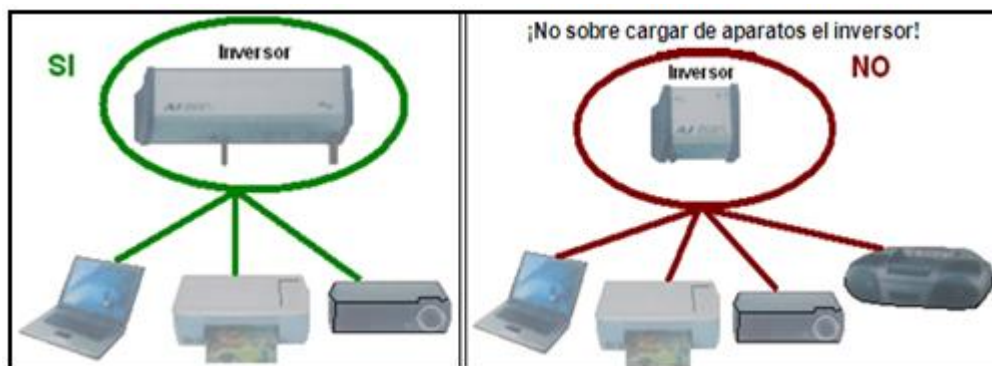
¡No utilizar inversores de automóviles o para otras aplicaciones en sistemas fotovoltaicos!

Los inversores instalados en la comunidad de Santa Clara será utilizado solo para la carga de celulares o carga de baterías para linternas ya que el sistema no fue diseñado para otros equipos por lo que si se desea conectar otros equipos es necesario aumentar el número de componentes del sistema fotovoltaico.

Es importante recordar que el inversor no determina el número de aparatos que se le van a conectar, si no la capacidad del sistema para el cual fue diseñado determinara esto.

En la figura 25, se muestra que se debe de conectar únicamente los aparatos para el cual fue diseñado el sistema, no sobrecargar de aparatos el inversor.

Figura 25. **Conectar al inversor únicamente los aparatos para el cual fue diseñado el sistema**



Fuente: elaboración propia, con programa paint.

5.6.2. Precauciones y recomendaciones

¡NINGÚN componente del sistema fotovoltaico debe moverse del lugar sin consultar a una persona experta y capacitada para realizar los cambios necesarios en las instalaciones del proyecto!

5.6.2.1. Se recomienda

Es necesario hacer mención de las siguientes recomendaciones a los usuarios y población en general de Santa Clara que utilizan un sistema fotovoltaico para iluminación en el área rural:

- Monitorear con frecuencia el sistema para asegurar que las conexiones y estructuras se mantengan intactas.
- Realizar un monitoreo periódico para verificar que todos los cables estén ordenados y bien conectados.
- Inspeccionar que todas las partes metálicas no portadores de corriente estén siempre conectadas a la barra de tierra.
- El mantenimiento de la instalación lo realice una persona capacitada en presencia de al menos uno de los gestores de la comunidad. Este mantenimiento será del tipo:
 - Preventivo, con al menos una visita de la instalación al año.
 - Correctivo, por avería, producida por fallos y requieren reparación o cambio de componentes.

- Utilizar las instalaciones únicamente para los aparatos para la cual fue diseñada.
- Utilizar el sistema fotovoltaico si este se encuentra con todos sus componentes bien instalaciones y en buenas condiciones.

5.6.2.2. Seguridad y precauciones

Para los sistemas fotovoltaicos de la comunidad de Santa Clara, es necesario hacer mención de la seguridad y precauciones que ayudaran a mantener en óptimas condiciones el equipo y principalmente la seguridad de las personas:

- La población debe de conocer los sistemas fotovoltaicos para usarlos de manera apropiada y darle un buen mantenimiento, por esta razón debe tener siempre la documentación necesaria.
- Utilizar medidas de seguridad apropiados, como guantes y lentes cuando se realicen labores de monitoreo y mantenimiento.
- Al realizar la limpieza, mantenimiento y monitoreo, nunca toque componentes eléctricos sin aislar, ya que esto supone un peligro ya que puede sufrir una descarga eléctrica en su cuerpo provocándole quemaduras o inclusive la muerte.
- Tener en cuenta siempre todas las precauciones eléctricas posibles, ya que cualquier accidente podría causar la muerte.

- Está estrictamente prohibido encender fuego y manipular líquidos o gases inflamables dentro del lugar donde se instalen las baterías y el regulador de carga.
- Si no se utilizan guantes de protección durante el mantenimiento de las baterías. Esto puede causar daños personales lamentables tales como quemaduras en la piel.
- El regulador se encarga de proteger las baterías en caso de sobrecargas o descargas excesivas, desconectándose internamente de manera automática.
- ¡Evitar conexiones invertidas en los cables! Por ejemplo conectar la batería en los terminales del controlador con los cables invertidos provocarán daños al controlador o cualquier otra conexión incorrecta de los demás componentes del sistema también dañaran toda la instalación.
- Para baterías abiertas o inundadas: el nivel del electrolito (líquido que contienen estas baterías) puede disminuir por la evaporación de agua. En este caso se deberá agregar agua destilada especial para baterías.
- ¡Nunca se debe hacer limpieza profunda a baterías conectadas al sistema eléctrico en funcionamiento!
- Se debe de garantizar que las personas encargadas del mantenimiento tengan acceso a los indicadores del controlador o regulador de carga.

- ¡Evitar que personas sin experiencia o niños toquen los controles del regulador! ¡Y mucho menos sus terminales de voltaje!
- No cambiar los equipos de su enchufe correspondiente. Para evitar sobrecargas en las líneas de consumo establecidos.

5.6.2.3. Equipos eléctricos apropiados

Utilizar en la medida de lo posible aparatos modernos y con tecnología de bajo consumo de energía eléctrica y alta eficiencia.

Además utilizar aparatos y equipos de primera necesidad como lámparas de bajo consumo y de alta eficiencia, le implicará un alto costo en la inversión, pero con el tiempo lo ahorrará en el consumo de energía y durabilidad que estos tienen.

Utilizar aparatos y equipos apropiados, siempre que sean más eficiente, por ejemplo, observamos que una lámpara fluorescente compacta de 20 vatios tiene la misma capacidad de iluminación que un foco incandescente de 100 vatios, sin embargo cuesta más, por lo que el ahorro de energía paga la inversión.

Las lámparas de bajo consumo tienen un tiempo de vida útil mayor comparado con los focos incandescentes comunes, además los focos incandescentes, consumen mucha energía y generan demasiado calor. Estas lámparas de bajo consumo, no generan calor y duran hasta 10 veces más.

No se debe conectar ningún aparato que funcione con 220 voltios corriente alterna, como los acondicionadores de aire, hornos, estufas eléctricas, calentadores de agua, planchas, etc.





No se debe conectar otros aparatos como: televisores, radios VHS, radio grabadoras, focos incandescentes, etc. Solo pueden conectarse los equipos previstos para lo cual se diseñó el sistema.

¡No conectar ningún aparato de calentamiento (por ejemplo hornos eléctricos, calentadores de agua)!, pues estos consumen mucha energía.

5.7. Ficha de mantenimiento de los equipos fotovoltaicos

Se recomienda que las rutinas de mantenimiento deban hacerse según el siguiente calendario y con las actividades programadas en cada componente del sistema fotovoltaico. (ver calendario de mantenimiento en la página 118).

Figura 26. Ficha de mantenimiento para el sistema FV

MANTENIMIENTO DE LOS SIGUIENTES COMPONENTES:		Ficha de mantenimiento para los usuarios en sus viviendas en las fechas recomendadas											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Panel 	Primer fin de semana de cada mes señalado.												
	Limpieza del panel.												
	Verificación de la estructura de soporte.												
	Verificación de grietas en el módulo.												
Controlador 	Ajustar las terminales de conexión.												
Batería Sellada (ó de Gel) 	Limpier los bornes o terminales, del polvo, acido ó la acumulación de sarro.												
	Ajustar las conexiones de las terminales de la batería con los tornillos adecuados.												
Baterías Inundadas ó No Selladas 	Cada Quince Días												
	Verificar el nivel de líquido en la batería y en caso de que le falte llénelo únicamente con agua destilada.												
	Limpier los bornes o terminales del polvo, acido ó la acumulación de sarro												
	Ajustar las conexiones de las terminales de la batería con los tornillos adecuados												

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Un sistema fotovoltaico por no poseer partes móviles en la generación de energía eléctrica el mantenimiento es mínimo y de costo muy reducido, pero es de vital importancia el mantenimiento preventivo para el buen funcionamiento, ya que con ello, se alarga la vida útil de todos los componentes, y se reduce los remplazos prematuros.
2. Del total de sistemas fotovoltaicos autónomos instalados en las viviendas de la comunidad rural de Santa Clara, el 22 por ciento de los sistemas se encuentran en buen funcionamiento, mientras que el restante por falta de mantenimiento o mal uso dejó de funcionar.
3. El mayor problema encontrado en los sistemas fotovoltaicos, es la sobrecarga que se le da a los sistemas, principalmente a las baterías, esto se debe por no utilizar un controlador o regulador de carga, provocando con ello, la reducción del tiempo de vida de las baterías.
4. Una de las causas que provoca la reducción de la vida útil de las baterías son los inversores utilizados, ya que estos no son diseñados exclusivamente para sistemas fotovoltaicos, lo que provocan descargas profundas de corriente a la batería, dañando las placas internas de las baterías, y con ello, reduciendo su vida útil.

5. La energía solar en la comunidad rural tiene muchas aplicaciones útiles y productivas tales como: electrificación rural, bombeo de agua, telecomunicaciones, centros de salud comunitarios, sistemas de energía para escuelas para uso en las telesecundarias, puestos de control y centros de acopio, entre otros.

RECOMENDACIONES

1. Ejecutar un programa de mantenimiento bien administrado y eficientemente ejecutado, a fin de beneficiar económicamente en muchos aspectos a los pobladores de la comunidad beneficiaria, reduciendo los costos por reparaciones o cambios de componentes de los sistemas fotovoltaicos.
2. A los usuarios de sistemas fotovoltaicos autónomos, deberán tener una supervisión más seguida (de una o dos veces al año), de un técnico o una persona especialista para verificar que se cumpla el buen funcionamiento y el mantenimiento de todos los sistemas.
3. Se insta a las personas que poseen sistemas fotovoltaicos, a hacer un uso adecuado de los sistemas, a no sobrecargar los sistemas, a efectuar el mantenimiento adecuado de acuerdo a las especificaciones propuestas en este trabajo. Ningún componente del sistema fotovoltaico debe moverse del lugar sin consultar a una persona experta y capacitada para realizar los cambios necesarios en las instalaciones del proyecto.
4. Brindar apoyo técnico a los beneficiarios de la comunidad de Santa Clara, en la adquisición de componentes fotovoltaicos con las especificaciones técnicas adecuadas y capacidades requeridas según el diseño

5. Efectuar el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, de acuerdo a la capacidad económica de cada persona y uso que se le desee dar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. México: Limusa, 2011. 368 p.
2. ABELLA, Miguel Alonso. *Energía solar fotovoltaica. módulo II*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales Tecnológicas, 2012. 103 p.
3. FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL (GEF). *Manuales sobre energía renovable: solar*. San José, Costa Rica: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. 42 p.
4. INGENIERÍA SIN FRONTERAS. *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. Madrid: Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica, 2005. 136 p.
5. MÉNDEZ, Javier; CUERVO Rafael. *Energía solar fotovoltaica*. España: Fundación Confemetal, 2006. 325 p.

6. Ministerio de Energía y Minas. *Energía solar, Una fuente de energía para la iluminación domiciliar en el área rural.* [en línea]. <http://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=MINISTERIO+DE+ENERGIA+Y+MINAS.+Energia+solar+para+la+iluminacion+domiciliar+en+el+area+rural.&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Guia-del-Inversionista_20121.pdf&ei=BR2MUITGKYvati-osQ9QT66oDIBw&usg=AFQjCNEN5UyXQ4oaNddovecebXFotovoltaicoz0Hrww> [Consulta: 10 de febrero 2012].
7. Ministerio de Energía y Minas. *Guía del Subsector Eléctrico y de las Energías Renovables 2011.* [en línea]. <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Guia-del-Inversionista_20121.pdf> [Consulta: 07 de febrero 2012].