



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO
AISLADO, PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
A LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS**

Carmencita De Los Ángeles Joaquín Barrios

Asesorado por: Ing. Rafael Jiménez Castañeda
Inga. Teresa Lisely de León Arana

Guatemala, junio de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO AISLADO,
PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA
COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

CARMENCITA DE LOS ÁNGELES JOACHÍN BARRIOS

ASESORADO POR: ING. RAFAEL JIMÉNEZ CASTAÑEDA
INGA. TERESA LISELY DE LEÓN ARANA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR:	Ing. Alberto Arango Sieckavizza
EXAMINADOR:	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO AISLADO. PARA EL
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD RURAL BUENA
VISTA, SAN MARCOS.**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 16 de octubre de 2007.



Carmenza De Los Angeles Joachin Barrios



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 2 de mayo del 2008

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS", desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Carmencita de los Ángeles Joaquín Barros, carné No. 2002-30311.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo Informe Final y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.
Atentamente,

"ID Y ENSEÑANZA A TODOS"



Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
Profesora Titular V
ASESORA-REVISORA



ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 30 de mayo del 2008
Ref. EIQ. 154.2008

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que, como consta en el Acta TG-042-08-B-IF, reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA en el grado de Licenciada a la estudiante Universitaria CARMENCITA DE LOS ÁNGELES JOACHÍN BARRIOS, identificada con carné No. 2002-30311, titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS**, el cual ha sido asesorado por el Dr. Rafael Jiménez Castañeda, profesor de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, España, en el marco de los Proyectos de Ingeniería para la Cooperación al Desarrollo del año académico 2007/2008 del Programa de Intercambio y Movilidad Académica –PIMA- que financia la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura –OEI-, Programa al cual la Facultad de Ingeniería de la USAC esta adscrita.

Habendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, y teniendo a la vista el Acta enviada a través de los mecanismos oficiales, por la Universidad de Cádiz, España, con la calificación de **notable** de fecha de lectura quince de febrero del presente año, se procede a recomendarle autorice a la estudiante Joachín

Barrios proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Químicos para revisar el trabajo de graduación de la estudiante Carmencita de los Ángeles Joaquín Barrios titulado: "DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO AISLADO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, junio de 2,008

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 216.2008

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 Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS**, presentado por la estudiante universitaria **Carmencita de los Angeles Joaquín Barrios**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Roldán
DECANO



Guatemala, junio de 2008

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por todas las bendiciones y protecciones que me ha dado, llenarme de sabiduría para poder luchar y alcanzar mis metas, por la vida que me ha regalado al lado de mi familia y mis amigos, en cada momento de felicidad y tristeza siempre ha estado a mi lado
- Mis padres** Ovidio Rocael Joaquín López y Clemencia del Carmen Barrios de Joaquín, por su amor, protección y apoyo en cada paso de mi vida, por darme esta vida y enseñarme que los sueños se pueden alcanzar con esfuerzo y dedicación. Los quiero mucho.
- Mis hermanos** Justa Alejandrina Joaquín Barrios y Rocael Alejandro Joaquín Barrios, por ser mis dos grandes tesoros, gracias por su amor, comprensión y protección, por estar conmigo en los momentos de alegría y tristeza, y sentirme orgullosa de tenerlos como hermanos.
- Mis amigos** Yéndira, Mariela, Ana Liliam, Natalia, Raúl, José Carlos, Héctor, Carola, Mario, Sergio, Dorcas, Alex, Francisco, Gaby, Fernando, Esther, Analí, por su gran amistad, por estar conmigo en los momentos en que más los necesitaba, y brindarme su confianza y cariño.
- Mis tíos** Especialmente a Armando Joaquín, Lidia Joaquín, Eduvina Joaquín y Aida Barrios.

Mis primos Especialmente a Karla, Suly, Jorge, Osmaida, por compartir conmigo momentos alegres y tristes.

La familia Esteban Sánchez

Por su apoyo y compañía en mi estadía en Cádiz, España, por brindarme su amistad y cariño, y hacerme sentir parte de su familia.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios en la que me desarrollé y formé, y me siento orgullosa de pertenecer a ella, por todas las experiencias adquiridas que colaboran con mi crecimiento personal y profesional

La Escuela de Ingeniería Química

Por dotarme de conocimientos y experiencia para el buen desempeño de mi profesión, con disciplina, responsabilidad y ética

La Universidad de Cádiz

Por su acogida y brindarme la oportunidad de tener una experiencia tan satisfactoria e importante para mi vida

Mi Tutor

Ing. Rafael Jiménez Castañeda, por su tiempo y atención, apoyo incondicional y aporte científico en el desarrollo del presente proyecto, así como su amistad y comprensión.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS	Ser amoroso y misericordioso, que me ha guiado en todo mi camino
Mis padres	Ovidio Rocael Joaquín López Clemencia del Carmen Barrios López de Joaquín
Mi hermanos	Justa Alejandrina y Rocael Alejandro Joaquín Barrios
Mis abuelos	Alejandro Joaquín (+), Justa López (+), Benito Barrios (+) y Asunción López (+)
Mis tíos	Armando, Lidia, Eduvina, Aida y Miguelina
Mis primos	Karla, Suly, Jorge y Osmaida
Mis amigos	Yéndira Velásquez, Mariela Navarro, Ana Liliam Mérida, Natalia Espinal, Raúl Urizar, José Carlos Méndez, Héctor Malchic, Carola García, Mario Bravo, Sergio Juárez, Dorcas Rodríguez, Alex Cifuentes, Gaby Alpírez, Fernando Velásquez, Esther Roquel y Analí Orozco
Los ingenieros	Rafael Castañeda, Williams Álvarez, Federico Salazar, Otto Raúl de León, por transmitirme sus conocimientos y hacer de esta investigación una realidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.	V
LISTA DE SÍMBOLOS.	IX
GLOSARIO.	XI
RESUMEN.	XV
OBJETIVOS.	XIX
INTRODUCCIÓN.	XXI
1. SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES.	1
1.1 Energía renovable.	1
1.1.1 Energía solar fotovoltaica.	3
1.1.1.1 Módulo fotovoltaico.	9
1.1.1.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.	13
1.1.2 Energía solar térmica a alta temperatura.	21
1.1.2.1 Métodos de generación eléctrica con energía solar térmica. ...	21
1.1.2.2 Sistemas de almacenamiento de energía solar térmica.	25
1.1.3 Energía eólica.	26
1.1.3.1 Aerogenerador o turbina eólica.	28
1.1.3.2 Aplicaciones de la energía eólica.	34
1.1.4 Energía geotérmica.	37
1.1.4.1 Tipos de yacimientos geotérmicos.	38
1.1.5 Energía hidroeléctrica.	42
1.1.5.1 Tipos de centrales eléctricas.	44
1.1.6 Energía biomasa.	46
1.2 Tipos de sistemas de generación eléctrica, según su conexión a la red.	51
1.2.1 Sistema conectado a la red eléctrica.	52

1.2.1.1 Plantas fotovoltaicas RD1663/2000.	53
1.2.1.2 Parques eólicos.	56
1.2.2 Sistema aislado a la red eléctrica.	58
1.2.2.1 Subsistema de acumulación de energía.	64
1.2.2.2 Subsistema de regulación.	74
1.2.2.3 Subsistema de acondicionamiento de potencia.	77
1.2.2.4 Subsistema de control, medida y protección.	82
1.3 Ejemplos de aplicaciones de instalaciones eólicas y fotovoltaicas.	83

2. FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA RENOVABLE, AISLADO A LA RED.	91
2.1 Descripción de la problemática energética para usuarios aislados.	91
2.1.1 Población.	97
2.1.2 Infraestructura.	98
2.1.3 Clima y temperatura.	99
2.1.4 Profesiones u oficios.	99
2.1.5 Educación.	100
2.1.6 Organización.	101
2.2 Situación actual del uso de energías renovables en Guatemala.	102
2.2.1 Disponibilidad de los recursos naturales (radiación solar y potencial eólico) en el emplazamiento de la instalación.	107
2.2.2 Experiencias previas en energías renovables en la zona, San Marcos.	118
2.2.3 Pertinencia de un programa de capacitación básica a los usuarios.	123
2.3 Conclusiones.	126

3. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE UTILIZADOS EN ÁREAS RURALES.	127
3.1. Análisis del sistema de energía solar fotovoltaico.	128
3.2. Análisis del sistema de energía eólica.	135
3.3 Posibles alternativas.	143
3.4 Conclusiones.	146
4 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.	147
4.1 Definición del sistema.	147
4.1.1 Consumo eléctrico real de las cargas.	148
4.2 Promedio de la radiación diaria disponible.	150
4.2.1 Peor mes o mes más desfavorable.	153
4.3 Subsistema de captación de energía.	156
4.3.1 Ubicación de los módulos fotovoltaicos.	157
4.3.2 Elección del tipo y número de módulos fotovoltaicos.	160
4.3.3 Características técnicas de la superficie de captación.	165
4.4 Subsistema de acumulación de energía.	172
4.5 Subsistema de regulación.	180
4.6 Subsistema de acondicionamiento del suministro eléctrico.	186
4.7 Conexión y transporte de la energía eléctrica.	193
4.8 Presupuesto.	206
4.8.1 Sistema usuario tipo 1.	206
4.8.2 Sistema usuario tipo 2.	207
4.9 Seguridad industrial en la construcción de los equipos.	208
4.9.1 Seguridad en la construcción.	208
4.9.1.1 Seguridad durante el montaje.	208
4.9.1.2 Seguridad durante el transporte.	209
4.9.1.3 Seguridad personal.	211
4.9.2 Puesta a tierra.	213

4.10 Breves instrucciones para el uso de un sistema solar fotovoltaico. . . . 214

CONCLUSIONES.219

RECOMENDACIONES.221

BIBLIOGRAFÍA.223

ANEXOS.229

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sección de un módulo.	10
2	Instalación fotovoltaica aislada.	18
3	Central fotovoltaica en Benejama, Alicante, España.	20
4	Colector solar tipo disco parabólico.	23
5	Colector solar tipo cilindro parabólico.	24
6	Estructura interna de un aerogenerador.	30
7	Miniturbina eólica de uso doméstico.	32
8	Aerogeneradores de eje vertical y horizontal.	33
9	Geotermoeléctrica en Cerro Prieto, Mexicalli, B.C., México.	40
10	Hidroeléctrica Complejo Paulo Alfonso-Sobradinho en Brasil.	46
11	Proceso de generación de biomasa.	47
12	Diagrama de proceso de una central de generación eléctrica a partir de biomasa.	49
13	Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.	52
14	Parque eólico en Tilarán, Costa Rica.	58
15	Diagrama de un sistema aislado a la red eléctrica.	59
16	Esquema de un sistema mixto de generación eléctrica con energías renovables.	63
17	Baterías:.	69
18	Inversor de baja potencia.	78
19	Mapa de la República de Guatemala.	92
20	Mapa del municipio de Esquipulas Palo Gordo, San Marcos, en el globo terrestre.	94
21	Fragmento de un mapa topográfico del departamento de San Marcos. . . .	96
22	Fotografía con habitantes de la comunidad Buena Vista.	97

23	Fotografías de la comunidad Buena Vista (escuela y viviendas).	98
24	Fotografía de la escuela construida por INTERVIDA.	101
25	Fotografía de un sector de viviendas de la comunidad Buena Vista.	105
26	Fotografía del entorno y espacios libres de la comunidad Buena Vista.	108
27	Fotografía de una vivienda un tanto aislada en la comunidad Buena Vista.	110
28	Fotografía de la comunidad Buena Vista.	111
29	Mapa de la clasificación del viento, según la densidad de potencia y velocidad.	112
30	Mapa de la ubicación de las torres para medición de propiedades del viento en Guatemala.	114
31	Mapa de radiación solar global anual y directa normal en kWh/m ² /día, para Guatemala, desarrollado por el programa <i>SWERA_GST</i> , aplicación <i>SWERA3</i>	117
32	Ejemplos de instalación de paneles fotovoltaicos en comunidades rurales para iluminación de viviendas e iluminación pública.	131
33	Esquema de un sistema de energía eólica.	138
34	Instalación mixta fotovoltaica-eólica en Guatemala.	138
35	Pantalla del programa <i>METEONORM</i> Versión 6.0, Beta 2.	152
36	Ejemplo de la instalación de módulos fotovoltaicos en una comunidad rural.	157
37	Trayectoria del Sol (hora solar) en Guatemala.	159
38	Módulo fotovoltaico policristalino KYOCERA KC65T-1.	167
39	Curvas características de tensión y corriente a distintas temperaturas de la célula en el módulo fotovoltaico.	167
40	Curvas características de tensión y corriente con distinta irradiación.	168
41	Ejemplos de montaje de módulos fotovoltaicos.	169
42	Batería monoblock FAAM de 12 V, C10 200 Ah.	179
43	Regulador de carga marca.	185

44 Inversor Linkchamp SP150.	192
45 Ejemplos del montaje de un sistema fotovoltaico aislado.	205

TABLAS

I. Energía específica y densidad de energía de distintos tipos de batería.	65
II. Voltaje medio de una célula de batería durante la descarga en distintas baterías recargables.	66
III. Velocidad promedio, temperatura y dirección del viento, para la torre instalada en San Marcos.	115
IV. Promedio anual de la radiación global solar sobre una superficie horizontal en Esquipulas Palo Gordo, San Marcos.	116
V. Ventajas y desventajas de la generación eléctrica con energía solar fotovoltaica.	134
VI. Ventajas y desventajas de la generación eléctrica con energía eólica.	142
VII. Consumo teórico de energía eléctrica para el usuario tipo 1.	147
VIII. Consumo teórico de energía eléctrica para el usuario tipo 2.	148
IX. Energía consumida corregida de ambos sistemas fotovoltaicos diseñados.	150
X. Irradiancia media de la radiación global de una superficie a distintos ángulos de inclinación.	152
XI. Datos calculados del cociente Y para todos los meses del año, determinación del peor mes del año.	155
XII. Horas de salida, puesta del Sol y horas de sol durante el día, en el año 2006.	158
XIII. Número de módulos para los dos tipos de usuarios, utilizando módulos de 65 Wp.	162
XIV. Distribución de los módulos fotovoltaicos en los sistemas diseñados.	164

XV.	Especificaciones del módulo KC65T-1, brindadas por el fabricante KYOCERA SOLAR.	165
XVI.	Parámetros de los módulos fotovoltaicos marca KYOCERA, según especificaciones del fabricante.	171
XVII.	Parámetros totales para los dos sistemas diseñados, utilizando módulos de 65 Wp, marca KYOCERA para el usuario tipo 1 y usuario tipo 2, respectivamente.	172
XVIII.	Capacidad del subsistema de acumulación o baterías en Ah para los dos tipos de usuarios definidos (sistemas individuales).	178
XIX.	Capacidad del subsistema de regulación para los dos sistemas diseñados, utilizando los parámetros de los módulos KYOCERA de 65 Wp.	183
XX.	Requerimientos del subsistema de acondicionamiento de potencia.	187
XXI.	Potencia de servicio continuo P_{inv} del subsistema de acondicionamiento de la red (inversor) y corriente entre la batería $I_{Acu inv}$ y el inversor para los dos sistemas diseñados, según el consumo.	190
XXII.	Especificaciones del inversor seleccionado para los sistemas fotovoltaicos diseñados.	190
XXIII.	Características más usuales de los circuitos presentes en sistemas fotovoltaicos.	195
XXIV.	Cableado del sistema fotovoltaico del usuario tipo 1.	203
XXV.	Cableado del sistema fotovoltaico del usuario tipo 2.	203
XXVI.	Sección y tipo de cable para las diferentes líneas del sistema fotovoltaico Usuario tipo 1.	204
XXVII.	Sección y tipo de cable para las diferentes líneas del sistema fotovoltaico Usuario tipo 2.	205
XXVIII.	Presupuesto para el sistema fotovoltaico Usuario Tipo 1.	206
XXIX.	Presupuesto para el sistema fotovoltaico Usuario Tipo 2.	207

LISTA DE SÍMBOLOS

GW	Giga-watt
MW	Mega-watt
kg	Kilogramo
g	Gramo
l	Litro
rpm	Revoluciones por minuto
Hz	Hertz
Ah	Amperio-hora
V	Voltios
m ²	Metros cuadrados
W	Watt o vatio
kW	Kilowatt
Wh	Watt-hora
CA	Corriente alterna
DC	Corriente directa
%	Por ciento
A	Amperio
FV	Fotovoltaico
°C	Grados centígrados
H.S.P.	Hora sol pico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm ²	Milímetros cuadrados

GLOSARIO

Albedo	Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.
Alternador	Máquina destinada a transformar la energía mecánica en eléctrica, generando, mediante fenómenos de inducción, una corriente alterna.
Célula fotovoltaica	Una célula fotoeléctrica, también llamada célula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico.
Corriente alterna	Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.
Digestor	De desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican, etc.) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Efecto fotoeléctrico	Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general).
Efecto invernadero	Fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar.
Fotosíntesis	Del griego antiguo φωτο (foto) "luz" y σύνθεσις (síntesis) "unión", base de la vida actual en la Tierra. Consiste en una serie de procesos mediante los cuales las plantas, algas y algunas bacterias captan y utilizan la energía de la luz solar para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo.
Fuerza electromotriz	Es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Es una característica de cada generador eléctrico.
Géiser	Es un tipo de fuente termal que eructa periódicamente, expulsando una columna de agua caliente y vapor en el aire. La palabra <i>géiser</i> viene de <i>Geysir</i> , nombre de una terma en Haukadalur,

Islandia; el nombre, sucesivamente, proviene del verbo islandés *gjósa*, "emanar"

Gradiente geotérmico Es la variación de temperatura, es decir gradiente térmico, que se produce en el material de un planeta rocoso (de ahí el prefijo GEO) cuando se avanza desde la superficie hacia el centro por un radio de su esfera, esto es, avanzando perpendicularmente desde la superficie del planeta hacia su interior.

Heliostatos Conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes normalmente en montura altacimutal, lo que permite, con los movimientos apropiados, mantener el reflejo de los rayos solares que inciden sobre él se fijen en todo momento en un punto o pequeña superficie, deshaciendo en el rayo reflejado el movimiento diurno terrestre.

Insolación Es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual)

Módulo fotovoltaico Están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos.

Potencia pico De un elemento fotovoltaico, no es que la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida:

irradiación: 1000W/m²; temperatura: 25° C; AM o
Masa de Aire: 1.5

Radiación directa Es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.

Radiación difusa Es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión, de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor.

Radiación solar Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

RESUMEN

Todos los países actualmente tienen el deber y obligación de fomentar e impulsar el uso de fuentes renovables, para la generación o transformación de la energía. Es por ello, que Guatemala también debe tomar responsabilidades en el marco energético, aprovechando los recursos naturales que posee.

En Guatemala, una de las fuentes renovables que se ha utilizado para generar energía útil, es la energía de los ríos (hidráulica), transformándola en energía eléctrica; pero, los avances tecnológicos han permitido que la radiación solar sea útil para generar energía eléctrica.

La radiación solar percibida en Guatemala permite el desarrollo de sistemas eléctricos utilizando energía solar; a través de la captación de la radiación en equipos fotovoltaicos que transforman la energía solar en energía eléctrica, es decir, módulos fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica para generación eléctrica se está aplicando en áreas rurales, ya que su uso es relativamente reciente en Guatemala; en el presente proyecto se diseñaron dos tipos de instalaciones o sistemas de energía solar fotovoltaica para suministrarle energía eléctrica a una comunidad en el área rural del municipio de Esquipulas Palo Gordo, perteneciente al departamento de San Marcos, llamada Buena Vista.

Con esto se logra impulsar el uso de fuentes renovables de energía y se soluciona el problema del suministro de energía eléctrica. A través de un análisis sobre la disponibilidad de los recursos naturales en la zona (San Marcos) se realizó el diseño de un sistema solar fotovoltaico; previamente se efectuó la comparación y análisis de las ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, para esta aplicación, sistema aislado individual en una comunidad rural

Se diseñaron dos sistemas fotovoltaicos individuales, en los cuales se especificó el consumo eléctrico, con la diferencia que el sistema del usuario tipo 1 tiene un menor consumo que el sistema del usuario tipo 2.

La especificación de dos tipos de usuarios se realizó porque en la comunidad existen familias que tienen mejores posibilidades económicas, tienen acceso a entretenimiento como la televisión y radios de mayor capacidad, aumentando con esto el consumo.

A partir del consumo eléctrico se dimensionan los sistemas, por ello el sistema del usuario tipo 1 es de mayor tamaño que el sistema del usuario tipo 2. El tamaño se relaciona con el consumo, pues según el consumo así será la dimensión del sistema y la generación de energía.

Dichos sistemas están integrados por: un subsistema de captación de energía (módulos fotovoltaicos), subsistema de acumulación o almacenaje de energía (acumuladores o baterías), subsistema de regulación (regulador de carga y descarga), subsistema de acondicionamiento de potencia (inversor) y, el cableado y transporte de la energía entre los diferentes subsistemas, así como a los receptores (consumo).

En tanto un sistema es de mayor tamaño o dimensión, así será su costo, por lo que el sistema del usuario tipo 1 tiene un costo menor que el sistema del usuario tipo 2

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer el diseño de un sistema de energía eléctrica utilizando fuentes renovables, para la implantación en una comunidad rural del país, tomando en cuenta la tecnología actual y disponible en Guatemala y Centroamérica.

ESPECÍFICOS

Utilizar fuentes renovables de energía para generar electricidad, con energía solar fotovoltaica

Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica aislado para suministrar electricidad a una comunidad rural de Guatemala, aldea Buena Vista, municipio Esquipulas Palo Gordo, San Marcos

Realizar un análisis de disponibilidad de los recursos naturales de tal forma que puedan utilizarse sin ocasionarle daños al ambiente y utilizarlos como fuentes renovables de energía, y así contribuir a contrarrestar la problemática mundial ocasionado por el uso de los recursos no renovables

Motivar a las comunidades y a las diferentes entidades públicas de Guatemala a que se invierta en energías renovables, como fuentes alternativas de energía, por no ser dañinas al ambiente.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda energética ha crecido a un ritmo acelerado e imparable al tiempo que baja la eficiencia y aumentan descontroladas las emisiones de gases de efecto invernadero, pues se vive en una sociedad que está regida por el consumo de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades energéticas.

Es necesario desarrollar un nuevo sistema dirigido a utilizar energías renovables, ya que se han convertido en una opción para el presente y futuro, a la vez que son inagotables y limpias. Además se pueden utilizar de forma autogestionada, aprovechándose en el mismo lugar en que se producen, con la ventaja de complementarse entre sí.

Entre las energías renovables están: energía solar, energía eólica, energía de biomasa, energía hidráulica y energía geotérmica. Puede que el aprovechamiento de éstas se vea restringido por la tecnología actual, la situación económica del país, la población a cubrir, situaciones climáticas, etc.; pero si la población está dispuesta a colaborar y los gobiernos a nivel mundial tienen una presencia obligatoria y responsable en este ámbito, se pueden llegar a desarrollar estas energías.

A nivel mundial los países que más invierten en energías renovables son: Japón, Alemania, España, Estados Unidos, y otros, ya que por ser potencias mundiales, tienen una gran responsabilidad por todos los problemas que se han desarrollado por la excesiva explotación de las fuentes de energía no renovable. Además, sus empresas generadoras de energía eléctrica están obligadas a utilizar energía renovable en sus instalaciones, especialmente en edificios e industrias.

Guatemala, actualmente utiliza fuentes de energía renovable para la producción de energía eléctrica, para el año 1990, el suministro de energía eléctrica con energías renovables era del 92% por hidroeléctricas y el resto por combustibles fósiles; pero en el año 2005 las hidroeléctricas tuvieron una participación del 40% y los combustibles fósiles el 60%.

El gobierno de Guatemala está obligado a buscar soluciones sobre la problemática de la energía. Actualmente, se están realizando algunos estudios y con la ayuda técnica y financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a través del Proyecto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) se cuentan con mapas del potencial eólico y solar de la República de Guatemala. Estos estudios con el fin de implantar fuentes de energía renovable, como es la energía eólica, energía solar fotovoltaica, energía solar térmica y otras, con la tecnología adecuada.

Además, se está promoviendo el uso de energías renovables, a través de incentivos como exoneración de impuestos, a las empresas generadoras de energía eléctrica y a industrias que generen energía eléctrica para su consumo. Sin embargo, las instalaciones de energía renovable se han desarrollado específicamente en el área rural, como instalaciones aisladas a la red de distribución.

Tanto el Gobierno de Guatemala como la industria guatemalteca, deben fomentar el uso de energías renovables, además de las hidroeléctricas, ya que los otros tipos de energías renovables tienen diversas aplicaciones como: repetidores de radio o televisión, alumbrado público, bombeo de agua, suministro de energía a viviendas rurales y/o urbanas, etc.

A partir de la problemática relacionada a la energía eléctrica, se plantea el desarrollo del uso de energía renovable en Guatemala, a través de un sistema de energía fotovoltaico solar aislado, que pueda cubrir la demanda energética de una comunidad alejada. Tomando en cuenta la situación demográfica, situación climática, situación económica, nivel educativo, recursos naturales con los que cuenta dicha comunidad, etc.; todo esto para desarrollar y determinar el tamaño del sistema energético, que sea capaz de cubrir sus principales necesidades eléctricas.

El proyecto como tal, tiene la finalidad de implementar el uso de fuentes de energía renovable en Guatemala, tomando como base los recursos disponibles y la tecnología al alcance; propiciando el uso de la energía solar fotovoltaica en sistemas individuales, diseñados para ser implantados en una comunidad rural del departamento de San Marcos, ubicada dentro del territorio del municipio de Esquipulas Palo Gordo, aldea Buena Vista.

1. SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES

1.1 Tipos de energía renovable

El término, energía renovable, engloba una serie de fuentes de energía que en teoría se consideran inagotables a escala humana, ya que se producen de forma continua con el paso del tiempo. Estas fuentes son una alternativa a las otras llamadas convencionales (no renovables) y producen un impacto ambiental mínimo

Con la excepción de la geotermia, la totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras; porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. También de éste procede la energía hidráulica, pues ordena el ciclo del agua y causa la evaporación que predispone la formación de nubes, y, por tanto, de las lluvias. Las plantas se alimentan del Sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer; toda esta materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente, pues conforma lo que es la energía solar y la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, la mayoría de veces se configura de forma distinta y separando cada una de ellas.

Las energías renovables, a lo largo de la historia y hasta bien entrado el siglo XIX, han cubierto la práctica totalidad de las necesidades energéticas del hombre. Sólo en los últimos cien años han sido superadas, primero por el empleo del carbón, y a partir de 1950 por el petróleo y en menor medida por el gas natural.

La energía nuclear, con 441 centrales nucleares en 2003, con una potencia instalada de 360 GW, cubre una parte insignificante del consumo mundial, y a pesar de algunas previsiones optimistas, su papel será siempre marginal [27]

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía solar, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor, por James Watt, se fueron abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas, utilizándose cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en la que el escaso consumo, no hacía preveer un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de años 1970, las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura, garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón, fueron llamadas energías alternativas. Actualmente, muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables.

Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

En la actualidad hay sistemas de energía renovable que utilizan más de una de ellas en su configuración. Esto depende de los recursos naturales al alcance, la tecnología disponible y las necesidades que se cubrirán.

1.1.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo; pues es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde.

Ya que el Sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares; la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera una potencia total de $1.73 \cdot 10^{14}$ kW. **[1, 15]**

La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular. No solamente varía la insolación máxima diaria (horas en las que el Sol está encima del horizonte del lugar) sino que la radiación solar es más o menos atenuada, según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa. Por ello, la radiación solar puede ser directa, difusa y albedo; pero la energía solar fotovoltaica utiliza la radiación directa y la radiación difusa, para la generación eléctrica.

En término medio sólo el 47% de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y moléculas del aire. La energía restante, un 53%, es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmósfera.

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como irradiancia (I_s) y se expresa en Wm^{-2} . Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los $1000 W/m^2$ en la superficie terrestre, este es un valor de referencia en la ingeniería relacionada con la energía solar

La energía solar fotovoltaica FV desarrollada en los años 50 por condicionamiento de la carrera espacial, alimentando todos los sistemas eléctricos y electrónicos de los satélites y estaciones espaciales. Con el paso del tiempo la tecnología fotovoltaica ha ido reduciendo costes y mejorando el rendimiento y fiabilidad de los componentes. A este desarrollo contribuyen de manera favorable, entre otros factores, la aparición de aparatos eléctricos cada vez menos exigentes en consumo de energía, la fabricación de electrónica de control, potencia de alta calidad, fiabilidad y la mejora de los sistemas electroquímicos de acumulación de energía.

La energía solar fotovoltaica como tal, tiene su origen en estudios e investigaciones sobre el efecto fotoeléctrico. Se dice que éste es instantáneo, ya que la radiación aparece sin retraso sensible; dado que el número de fotoelectrones emitidos, es decir, la intensidad de la corriente producida, es proporcional a la radiación recibida; la velocidad de la emisión no influye en absoluto la intensidad luminosa, ni su estado de polarización, pero sí su frecuencia o longitud de onda; y para cada metal existe una frecuencia mínima de la radiación luminosa por debajo de la cual no se presenta el efecto fotoeléctrico.

Las células fotoeléctricas son dispositivos basados en la acción de radiaciones luminosas sobre ciertas superficies metálicas. El efecto de esas radiaciones puede ser de tres tipos: el efecto fotoemisivo o fotoexterno, provoca en el metal un arranque de electrones con liberación de los mismos; el efecto fotoconductor o fotointerno, modifica la conductividad eléctrica del metal y el efecto fotovoltaico, crea una fuerza electromotriz en el metal.

En este último, se encuentra integradas las células fotovoltaicas, que generan un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que reciben. Estas células no requieren ni tensión auxiliar ni vacío, razón por la cual son utilizadas para la conversión de energía solar en energía eléctrica. Chapin, Fueller y Perarson desarrollaron en 1954 la primera célula solar capaz de convertir, la luz del Sol en energía eléctrica. **[1, 24]**

Los materiales usados para las células fotovoltaicas son los semiconductores, ya que la energía que liga a los electrones de valencia con su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar.

Al incidir ésta sobre el semiconductor sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia como para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el semiconductor.

La célula o celda fotovoltaica es un dispositivo capaz de convertir la luz en energía eléctrica de una forma directa e inmediata. Las células fotovoltaicas más utilizadas son las construidas a base de silicio monocristalino, sin embargo hay diversos procedimientos y tipos de materiales que se usan para la construcción de las células.

Células de arseniuro de galio AsGa

Son las células fotovoltaicas más indicadas para la fabricación de módulos, ya que su rendimiento teórico alcanza límites cercanos al 27%-28% en su versión monocristalina. El problema principal radica en que este material es raro y poco abundante, la tecnología es poco avanzada y los costes son elevados.

Algo que lo caracteriza es su elevado coeficiente de absorción que hace que con poco material se obtenga una eficiencia elevada, además puede trabajar a temperaturas altas con pérdidas menores que el silicio monocristalino, lo que lo pone en ventaja para ser utilizado en sistemas de concentración.

Estas células de arseniuro de galio AsGa poseen buenas propiedades, pero su uso se ve limitado por el elevado coste de producción de la materia prima, haciendo que su precio no sea competitivo a la tecnologías utilizadas actualmente.

Células de silicio amorfo

Estas células tienen la ventaja de ser más económicas, ya que en su fabricación el espesor del material a utilizar puede llegar a ser 50 veces menor que el equivalente fabricado en silicio monocristalino. También presenta un alto coeficiente de absorción, lo que permite la utilización de espesores de material activo muy pequeños.

El silicio amorfo se presenta como un candidato importante para la fabricación de células fotovoltaicas, utilizando células de silicio amorfo multicapa para retardar la degradación que sufren al transcurrir determinado tiempo

El costo de fabricación de estas células, es más barato que el del resto de tecnologías, debido a que se emplea poco material y la facilidad de su fabricación en masa; además pueden fabricarse de colores e incluso traslúcidas.

Células de silicio policristalino

Son aquellas obtenidas a partir de procesos que no necesitan un control exhaustivo de la temperatura en la solidificación del material de silicio ni un crecimiento controlado de su red cristalina. Se les da el nombre de policristalinas, pues la solidificación no se hace en un solo cristal sino en múltiples

Una gran ventaja en la fabricación de células de silicio policristalina es la posibilidad de producirlas directamente en forma cuadrada, lo que facilita enormemente la fabricación de paneles solares compactos sin posteriores mecanizaciones de la célula.

Se están fabricando células de este tipo, pero son policristalinas continuas de hasta 60 cm de ancho, se denominan comercialmente APEX™ y al método de fabricación Silicon Film. El proceso de fabricación elimina la solidificación clásica y el corte de la oblea, dos pasos realmente costosos en el proceso de producción de módulos fotovoltaicos.

Células de silicio monocristalino

Son las células fotovoltaicas más usadas. Esto puede deberse en gran parte a la importante industria que se ha montado alrededor del silicio, ya que es la base de todos los transistores, circuitos integrados y otros componentes activos electrónicos.

Aunque el silicio es el segundo material más abundante en la Tierra, después del oxígeno; no se encuentra en estado puro y existen ciertos elementos de difícil eliminación.

Una célula solar de silicio monocristalino no es otra cosa que un diodo de unión p-n que se hace especialmente sensible a la iluminación, generando la corriente eléctrica.

Actualmente, se encuentran en experimentación materiales para aplicar en forma de capa delgada como el telurio de cadmio (Cd Te) o el di-seleniuro de indio-cobre, conocido por CIS, con eficiencias en torno al 14%.

Normalmente, y para células cuadradas de 4, 5 y 6 pulgadas, las corrientes se sitúan en los 3.1 A, 4.4 A y 7.1 A respectivamente, para una radiación de 100 mW/cm² [1, 26]

1.1.1.1 Módulo fotovoltaico

Un módulo o panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre sí convenientemente (en serie y/o en paralelo); con el objeto de obtener voltajes de operación adecuados a la aplicación. Estas series de células se encapsulan habitualmente entre vidrio y/o películas poliméricas como poliéster, tedlar, etc. Para su sellado frente a la humedad, se utiliza el acetato de vinil-etileno o resinas de silicona, y si es necesario se colocan sobre un marco metálico para dar rigidez al módulo y proveer de puntos de anclaje y montaje.

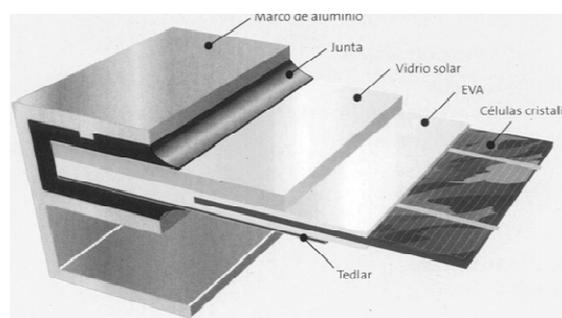
Realizan la captación de la energía procedente del sol para luego transformarla, directamente, en energía eléctrica, en forma de tensión y corriente continua. Sus principales características son la potencia pico, la intensidad pico, la tensión nominal, que suele ser 12 V, y la tensión máxima, medidos en condiciones estándar que suponen una radiación incidente de 1,000 W/m²

Los cuatro factores que determinan la potencia de salida de un módulo fotovoltaico son: el rendimiento de sus células fotovoltaicas FV, la resistencia de la carga, esto es, el punto de trabajo en la curva I-V (corriente-tensión), la irradiancia solar y la temperatura de las células (relacionada con la temperatura ambiente). Mientras que el rendimiento de las células está definido por el proceso de fabricación de las mismas. [6, 254]

Los módulos fotovoltaicos se montan en estructuras soportes estables, rígidas y durables, que soporten la fuerza del viento, lluvias y otras condiciones adversas. Debe quedar perfectamente establecido el tipo de estructura que soporta a los módulos: fija o móvil (si tienen varias posiciones regulables manualmente o, si la orientación de los paneles se realiza de forma continua, automáticamente; es decir, paneles con seguimiento solar, que puede ser a un eje o bien a dos ejes). Las estructuras fijas se utilizan comúnmente con módulos planos a ángulos fijos determinados por la latitud del lugar y las necesidades de generación. En sistemas de concentración se suele diseñar la estructura con seguimiento solar.

Los módulos fotovoltaicos tienen estructuras y formas muy variadas, según los diferentes fabricantes.

Figura 1. Sección de un módulo fotovoltaico



Fuente: Referencia bibliográfica 1, página 29

Los módulos fotovoltaicos suelen disponer de otros elementos para facilitar el funcionamiento de las instalaciones, entre los que cabe mencionar: cables o conductores, fusibles, cajas de conexiones, pararrayos, protección contra sobretensiones y bornes de puesta a tierra

Los conductores empleados para interconectar los módulos entre sí y con el resto de la instalación, al estar instalados en el exterior, deben ser de doble aislamiento, deben ser resistentes a los rayos ultravioletas y a las altas temperaturas que pueden producirse en períodos de alta insolación y deben tener la sección adecuada para soportar las intensidades de corriente en régimen de carga nominal y en caso de cortocircuito, a la vez que minimizar la caída de tensión.

Si la potencia suministrada por un módulo fotovoltaico no es suficiente para una aplicación determinada, se realizan asociaciones serie y paralelo de módulos, para formar un *generador fotovoltaico*, al igual que con las células fotovoltaicas. Cuando las células se asocian en serie, circula la misma corriente a través de ellas, y el voltaje resultante es la suma de los voltajes de cada una. Cuando se asocian en paralelo, por el contrario, se suman las corrientes para cada valor de tensión. Se supone que las células son exactamente iguales. En caso contrario se producen efectos de dispersión de parámetros, descompensación.

Los paneles FVs que usan células de cSi (silicio monocristalino) son los más populares (60% del mercado). Los que usan células de pSi (silicio policristalino) tienen un 35% del mercado. El resto corresponde a los paneles que usan silicio amorfo (aSi), los que, a pesar de su bajo costo, no alcanzan a competir con los dos tipos previamente mencionados

En el mercado se ven desde pequeñas células sueltas hasta módulos de potencia superior a 130 W, pasando por módulos de 6 y 12 V de pequeña potencia y módulos de 12 V y 24 V con potencias pico de orden de 50 W, 60 W, 75 W, y así escalonadamente hasta llegar a los de mayor potencia (180 W o más).

En cuanto a los aspectos constructivos es necesario, al menos, conocer las dimensiones y el sistema de fijación al soporte; el tamaño de la superficie de un panel fotovoltaico es proporcional a su potencia eléctrica y evidentemente a la intensidad. Otro dato de interés es la masa, ésta oscila entre los 5 y 15 kg para módulos de potencia superior a los 45 Wp. **[2, 358]**

Habitualmente las células se interconectan en serie debido a sus características eléctricas. Las células de silicio cristalino o multicristalino generan potencias de entre 1 y 1.5 W en condiciones estándar, suministradas a tensiones de entre 0.5 y 0.6 V. El número de células en cada serie vendrá determinado por la tensión nominal del módulo, el cual, a su vez, tiene que acoplarse a los valores nominales del sistema de almacenamiento (cuando lo requiera)

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que las células y los contactos van encapsulados en una robusta resina sintética, se consigue una buena fiabilidad junto con una larga vida útil, del orden de 30 años o más.

En la época actual, la generación de electricidad a partir de energía fotovoltaica, se está implementando cada vez más en los países desarrollados, debido a los fenómenos que ha empezado a sufrir la Tierra.

Los gobiernos se ven obligados a invertir en energías renovables y la energía solar fotovoltaica es una de las que tiene un buen futuro en cuanto a desarrollo y aplicación. Se encuentran grandes centrales fotovoltaicas en España, Alemania, Italia, Estados Unidos, Suiza, Holanda, Grecia, etc.

El mercado alemán es el líder mundial en células solares, muy por encima del mercado japonés (que se mantuvo en los 300 MWp en 2006) y el estadounidense (que se situó en más de 120 MWp). La solidez del mercado alemán se explica por la estabilidad del sistema de incentivos, basado principalmente en la Ley de Energías Renovables (EEG), que desde agosto de 2004 obliga a las compañías eléctricas a comprar electricidad de origen fotovoltaico a un precio fijado previamente. [10, 7]

1.1.1.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

Las **aplicaciones aisladas de la red eléctrica** son las que usan la energía solar para pequeños consumos en el mismo lugar que se produce la demanda. Estos lugares están retirados de la red eléctrica o presentan orografías agrestes que hacen costosa la colocación del tendido eléctrico. Dentro de las aplicaciones aisladas están:

Los *sistemas individuales en corriente directa CD para aplicaciones domésticas*, es la aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica. Estos sistemas están compuestos, normalmente, por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 Wp, un regulador de carga electrónico a 12 V, una o dos baterías con capacidad total menor que 150 Ah, 2 ó 3 lámparas a 12 V y un tomacorriente para la utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 V.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

a) El voltaje nominal es 12 V de corriente directa: Esto implica que solamente se puede usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 V. Es importante mencionar que, aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 V, en América Central puede ser difícil adquirir este tipo de aparatos en el comercio local, particularmente las lámparas. Normalmente, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos para comprarlas, pero esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).

b) El costo comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares, 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 V, 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.

Los *sistemas individuales en corriente alterna CA para aplicaciones domésticas* 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 V de corriente directa a 110 ó 220 V 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 lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radiograbadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), 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 dos lámparas, un radio y un televisor (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 dos lámparas, radio-caseteras de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, entonces, es mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

El sistema puede proveer energía tanto a 110 ó 220 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa. La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 110 ó 220 V, los cuales son más comunes, más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 V; se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 V, 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 110 V es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 V.

Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 110 V en el comercio local que reemplazar equipo de 12 V. Por lo tanto, si bien existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero.

Los *sistemas fotovoltaicos centralizados aislados* son una opción válida para la electrificación rural cuando no existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas y cuando las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor alternativa, sino la única, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema fotovoltaico centralizado debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico.

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce, almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas.

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual con suministro CA. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual.

Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Las cargas que se utilizan son lámparas fluorescentes de alta eficiencia, equipos de audio (radios, equipos de sonido de alta fidelidad), equipos de video (televisores de color, salas comunales de cine), equipos de computación, equipos de bombeo de agua potable, congeladores para fábricas de hielo, lámparas para iluminación pública y otros.

En resumen, las aplicaciones aisladas de los sistemas fotovoltaicos están constituidas por:

Electrificación rural de viviendas y pequeños núcleos de población aislados, siendo unas de las primeras implantaciones, ya que el costo de llevar la red, a veces por kilómetros, para suministrar muy poca potencia es muy elevado en comparación al costo de un pequeño o mediano sistema fotovoltaico. Las necesidades básicas a cubrir son: la iluminación, el pequeño bombeo de agua, el uso de pequeños electrodomésticos (batidora, televisor, etc.), el suministro a lavadora, refrigerador y otros aparatos (países desarrollados); en cambio en países en desarrollo estas necesidades son de menor consumo. Las viviendas con usos típicos de fin de semana, bien para el ocio o para el laboreo agro-ganadero en lugares rurales más o menos remotos.

El número de módulos instalados es muy variado y oscila desde pequeñas y medianas instalaciones hasta grandes instalaciones de cientos de módulos para suministro a núcleos pequeños de población.

Electrificación de locales para servicios a la comunidad en países poco electrificados, en escuelas, centros de atención médica y hospitalaria, edificios religiosos y otras edificaciones de uso público. Puede permitir la iluminación, la conservación de alimentos y medicamentos, el uso de aparatos eléctricos médicos o educativos, la aplicación de sistemas informáticos, etc.

Suministro eléctrico de alojamientos ganaderos e iluminación de naves agrícolas en lugares aislados, iluminación pública, sistemas de bombeo de agua en lugares remotos, estaciones de tratamiento y depuración de aguas de consumo o residuales, para el funcionamiento de controles de calidad, bombeo de trasiego de agua o lodos, accionamiento de válvulas automáticas, sistemas de telemetría y de control a distancia, etc.; balizamiento y señalización, faros, señalización aérea, marítima, etc.; telecomunicaciones, telefonía de autopistas, telefonía rural, repetidores de radios; sistemas de control de parámetros medioambientales y ocio.

Figura 2. Instalación fotovoltaica aislada



Fuente: (Cortesía de <http://www.verasolar.com>)

Las **aplicaciones conectadas a la red eléctrica** tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. Estos sistemas se están utilizando sobre tejados en viviendas e industrias (integración en edificios), y para plantas de generación de energía (centrales fotovoltaicas). También existe otro tipo de aplicaciones en las cuales los módulos fotovoltaicos son utilizados como elementos constructivos en diversos entornos urbanos, tales como barreras antisonido en autopistas y vías de tren, cubiertas de piscinas y aparcamientos, etc.

La potencia nominal de las instalaciones en viviendas o edificios en general está relacionada con la superficie útil disponible para la instalación del generador fotovoltaico, aproximadamente de 8 a 10 m² por kWp en función del rendimiento del generador fotovoltaico. La potencia típica de la mayor parte de las instalaciones se sitúa en torno a los 5 kWp en viviendas y hasta 100 kWp en otras instalaciones (edificios e integración urbana). **[2, 463]**

La conexión a red de este tipo de instalaciones se puede realizar directamente a la red de baja tensión, en modo monofásico hasta 5 kW y en trifásico para el resto.

Otro tipo de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red son las centrales fotovoltaicas de generación eléctrica, con potencias nominales superiores a los 100 kWp, suelen disponer de una conexión a la red eléctrica en media o alta tensión, disponiendo de un centro de transformación en el que se eleva la tensión de salida de los inversores fotovoltaicos adecuándola a la tensión de la línea eléctrica. Además de generar energía eléctrica, también pueden laminar los picos de demanda de consumo eléctrico que normalmente ocurren simultáneamente con los picos de generación fotovoltaicos, al mediodía.

Pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de la red en redes locales muy alejadas de los puntos de generación o incluso para el control voluntario de generación de energía reactiva.

Un sistema fotovoltaico conectado a red e integrado en viviendas puede inyectar el excedente de energía no consumida en la vivienda y utilizar a la red en lugar del sistema de baterías para abastecerse cuando no hay radiación solar suficiente. Este método de operación tiene la ventaja de que cuando se consume de la red, las tarifas eléctricas son más bajas.

Los usuarios de sistemas conectados a la red eléctrica no sólo reducen la cantidad de electricidad que compran a la compañía eléctrica, sino que contribuyen a la disminución de la contaminación mediante la utilización de energías renovables no contaminantes.

Figura 3. Central Fotovoltaica en Benejama, en la localidad alicantina de España, tamaño comparable a 70 campos de fútbol y capacidad para producir energía equivalente al consumo medio anual de 12.000 hogares



Fuente: www.genciencia.com/2007/03/23-benejama-acoge-la-planta-solar-mas-grande-del-mundo

1.1.2 Energía solar térmica a alta temperatura

La energía solar térmica utiliza directamente la energía que recibe la Tierra del Sol para calentar un fluido. Los usos fundamentales de la energía térmica son: la producción de electricidad en grandes centrales y el resto de aplicaciones industriales y domésticas, que recuperan directamente el calor de la radiación solar.

La intensidad de energía utilizable una vez que la radiación solar atraviesa la atmósfera es muy baja, y su utilización está condicionada por la temperatura a la cual se va a aprovechar. La energía solar térmica según su utilización se puede clasificar en baja, media o alta temperatura, y sólo es válida ésta última para la producción de energía eléctrica.

1.1.2.1 Métodos de generación eléctrica con energía solar térmica

Existen dos modos de producir electricidad por energía solar térmica: de alta o de baja concentración. La filosofía de ambas consiste en calentar un fluido que al evaporarse hace mover una turbina; a partir de esto, el funcionamiento es similar al de una central de generación eléctrica cualquiera: térmica, nuclear, hidroeléctrica, etc.

La diferencia en este caso es que la fuente de energía, es decir, el combustible es el Sol, una fuente inagotable y que no contamina. El rendimiento global de una central termosolar de generación de electricidad está en el rango del 16-20% (Fuente: PSA Plataforma Solar de Almería) [27]

Los dispositivos de **alta concentración** son los llamados sistemas de receptor central. La radiación solar se capta por medio de un conjunto de espejos curvos, que reflejan la luz del sol concentrándola en un único punto o foco. La misión de estos espejos o heliostatos, es seguir el movimiento solar a lo largo del día y su control se realiza por medio de programas software.

El foco funciona como receptor del calor que lo transfiere al fluido de trabajo (agua, aceite, aire, sales, etc.), que es el encargado de transmitir el calor a otra parte de la central termosolar.

Generalmente, el calor es transmitido a un depósito de agua, que a altas temperaturas evapora el agua, aprovechando el vapor para hacer mover una turbina.

Los receptores centrales tienen características positivas: tienen radios de concentración de 300 a 1.500, es decir, son altamente eficientes, y pueden operar a temperaturas de 500 a 1500°C.

Existen dos configuraciones básicas: en la primera, los heliostatos rodean completamente a la torre central (cilíndrica y de superficie con alta conductividad térmica). En el segundo caso, los heliostatos están colocados el norte de la torre receptora.

Otra variedad de centrales solares térmicas de alta concentración son los llamados discos parabólicos: Una disco parabólico es un colector que rastrea el sol en dos ejes, concentrando la radiación solar en un receptor ubicado en el foco de la parábola. El receptor absorbe la energía convirtiéndola en energía térmica. La energía puede ser convertida inmediatamente después, mediante un generador a energía eléctrica o ser conducida mediante tuberías a una central de conversión.

Los colectores parabólicos tienen entre otras las siguientes características: están orientados directamente al sol, son los más eficientes de todos los colectores, tienen radios de concentración de alrededor de 600 a 2000, pueden alcanzar temperaturas superiores a los 1500 °C. Este tipo de sistema usa como fluido aceite o vapor de agua.

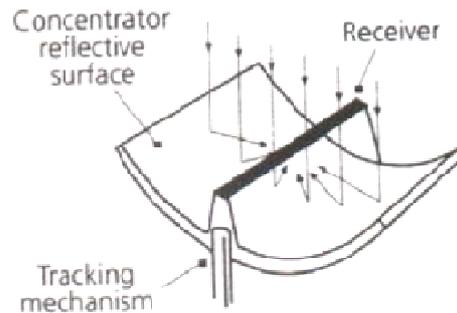
Figura 4. Colector solar tipo disco parabólico para una central solar térmica de alta temperatura



Fuente: Referencia electrónica 27

Los dispositivos de **baja concentración** son algo diferentes: esta vez, se trata de un conjunto de colectores cilindro parabólicos que también se mueven con el sol concentrando la radiación en una tubería ubicada a lo largo del foco, la cual concentra el fluido de trabajo que transporta el calor adquirido. Este fluido que se mueve en el tubo es calentado y transportado a una red de tuberías diseñada para minimizar las pérdidas por calor. Los sistemas parabólicos típicamente tienen una línea focal horizontal simple y por lo tanto, rastrean el sol a lo largo de un solo eje, ya sea norte-sur o este-oeste.

Figura 5. Colector solar tipo cilindro parabólico para centrales de energía solar térmica



a) Parabolic trough

Fuente: Referencia electrónica 27

Una orientación Norte-Sur provee un poco más de energía anual que la Este-Oeste, pero el potencial en invierno es menor en latitudes medianas. En contraste, una orientación Este-Oeste provee un producto más constante a través del año. Los sistemas parabólicos operan a temperaturas que bordean el rango 100 a 400 °C, bastantes más bajas que el sistema de foco central. Sin embargo, este tipo de sistemas son los más desarrollados tecnológicamente, ya que las centrales ocupan un espacio más pequeño y presentan ventajas frente a los discos parabólicos.

En ambos casos (alta o baja concentración), la energía calorífica solar se transforma generalmente en energía eléctrica, pero existe la posibilidad de almacenar calor.

Uno de los grandes inconvenientes de la energía solar es su discontinuidad en el tiempo; en el caso de los sistemas de concentración se añade una segunda restricción, ya que estos sistemas sólo aprovechan la radiación solar directa, por lo que necesitan que no haya nubes. Para solventar estos problemas se disponen de sistemas de almacenamiento térmico.

1.1.2.2 Sistemas de almacenamiento de energía solar térmica

Atendiendo al medio en el cual se almacena la energía térmica, se distinguen dos tipos de sistemas:

Los **sistemas de almacenamiento en medio único** son aquellos en los que el medio utilizado para almacenar la energía térmica es el mismo fluido que circula por los colectores solares. Los más comunes utilizan aceite sintético como fluido de trabajo y como medio de almacenamiento. La eficiencia de estos sistemas es superior al 90%. (Fuente: PSA) [27]

Los **sistemas de almacenamiento en medio dual** son aquellos en los que el almacenamiento de calor se efectúa en un medio diferente al fluido de trabajo que se calienta en los colectores solares. Los medios de almacenamiento más comunes son las placas de hierro, materiales cerámicos o el hormigón. La eficiencia de estos sistemas es ronda el 70%. (Fuente: PSA) [27]

1.1.3 Energía eólica

Como la mayoría de las energías renovables, la eólica tiene su origen en la radiación solar, puesto que es ella la responsable de que se produzca el viento. La atmósfera de la Tierra absorbe la radiación solar de forma irregular debido a diversos factores (diferencias entre la superficie marina y la continental, elevación del suelo, nubosidad, alternancia del día y la noche, etc.) y esa irregularidad crea masas de aire con diferentes temperaturas y, en consecuencia, presiones. Las diferentes presiones provocan que el aire tienda a desplazarse desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión, generando el movimiento del aire, es decir, el viento.

El hombre ha aprovechado para sus fines industriales la energía contenida en el viento y en las corrientes de agua desde tiempos inmemoriales. Entre las técnicas más antiguas de aprovechamiento de la energía de los fluidos atmosféricos están el desplazamiento y transporte, la molienda de grano, la extracción de aceites, el prensado de materia vegetal, el aserrado de madera, y desde luego, la elevación y trasiego de agua para el regadío y el abastecimiento humano y animal.

Los más antiguos molinos accionados por el viento eran de eje vertical y se sitúan en Persia hace unos 3.700 años, al parecer en la misma época histórica también se desarrolla en china un molino de eje vertical.

En la actualidad, los científicos realizando estudios e investigaciones, han calculado que entre el 1% y el 2% de la energía proveniente del Sol se convierte en viento.

Esto supone un potencial inmenso de energía eólica, del orden de 53 TWh/año en el mundo, cinco veces más que el actual consumo eléctrico en todo el planeta; sin embargo, no todo este potencial es aprovechable. **[5, 22]**

Con la tecnología actual se aprovechan, fundamentalmente los llamados vientos horizontales, esto es, los que soplan paralelos y próximos al suelo, y siempre que su velocidad esté comprendida entre unos límites que suelen ir desde los 3 m/s (10.8 km/h) hasta los 25 m/s (90 km/h); aunque el avance tecnológico va ampliando cada vez más estos parámetros.

Las características del viento que son utilizadas, para describir y pronosticar el clima o tiempo, son su rapidez y su dirección. La dirección del viento es a menudo indicada en periodos de 360° en escala circular; por tal escala, 0° indica el Norte, 90° indica el Este, 180 ° indica el Sur y 270° indica el Oeste.

La generación de energía eólica debe tomar en cuenta algunos factores: cambios diarios, estacionales y de la noche; el cambio en la velocidad del viento con respecto a la altura sobre el nivel del suelo; la medida de ráfagas en el corto plazo y los valores de los datos estadísticos obtenidos por el registro en un largo período de tiempo; además es importante saber cuál es la velocidad máxima del viento.

Los promotores de la energía eólica comercial miden los recursos eólicos reales, para determinar la distribución de velocidades del viento, debido a la considerable influencia de esta distribución en el potencial eólico. Donde esto no sea práctico, pueden usarse distribuciones de velocidades de estaciones meteorológicas más cercanas. Si no hay disponible ninguna fuente, la distribución de Rayleigh es la generalmente utilizada.

La energía eólica aprovechada a gran escala produce un fuerte impacto visual, que según el caso puede ser más o menos agradable, no obstante, el efecto sobre los ecosistemas es despreciable, permitiendo las actividades agroganaderas en el mismo pie de las máquinas eólicas. Sectores interesados en el fracaso de la energía eólica alegan la contaminación sonora por el batir rítmico de las palas, mirando el alrededor se comprueba el mundo de ruidos en el que se vive. [8, 197]

1.1.3.1 Aerogenerador o turbina eólica

El dispositivo que se utiliza para aprovechar la energía contenida en el viento y transformarla en energía eléctrica es la turbina eólica o aerogenerador. Una turbina obtiene su potencia de entrada convirtiendo la energía cinética del viento en un par (fuerza de giro), el cual actúa sobre las palas o hélices de su rotor. Para la producción de electricidad, la energía rotacional es convertida en eléctrica por el generador que posee una turbina; en este caso, llamado aerogenerador.

Los aerogeneradores o turbinas que se encuentran en el mercado son muy confiables, con factores de disponibilidad de más del 98% al año; generalmente, apagándose sólo durante el período de mantenimiento. Además las turbinas suelen requerir mantenimiento cada seis meses.

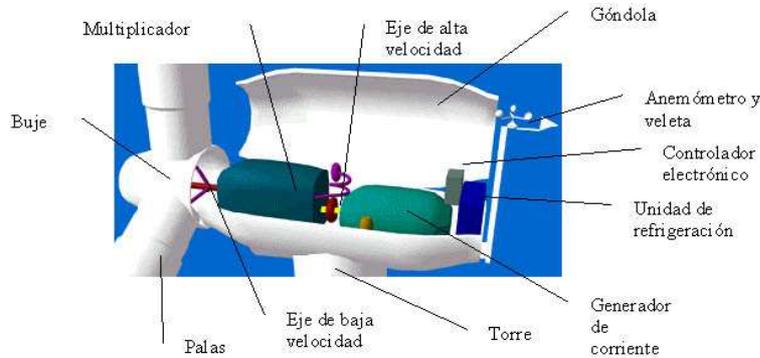
Aparte de las características del viento, la cantidad de energía que pueda ser transferida depende de la eficiencia del sistema y del diámetro del rotor.

Los aerogeneradores van situados sobre una columna o torre, debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al suelo. Deben situarse lejos de obstáculos (árboles, edificios, etc.) que creen turbulencias en el aire y, a ser posible, en lugares donde el viento sopla con una intensidad semejante todo el tiempo, a fin de optimizar su rendimiento.

Los primeros aerogeneradores tenían rendimientos escasos del orden del 10%, pero los actuales cuentan con sofisticados sistemas de control que les permiten alcanzar rendimiento próximos al 50%, un porcentaje alto, si se tiene en cuenta que la fracción máxima de la energía del viento que puede capturar un aerogenerador es del 59%, según demostró el físico alemán Albert Betz en 1919. **[7,118]**

La inmensa mayoría de los aerogeneradores modernos son de eje horizontal y tripalas. Este número de palas es considerado el idóneo. Si hay más, el rendimiento de la máquina baja, ya que cada pala choca con las turbulencias dejadas por la anterior, lo que frena su movimiento. Por su parte, los aerogeneradores bipala ahorran el coste de una pala y, por supuesto, su peso; sin embargo, necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida, lo que supone también una desventaja en lo que respecta al ruido, pero son utilizados en instalaciones de baja potencia

Figura 6. Estructura interna de un aerogenerador



Fuente: Referencia electrónica 15

El aerogenerador está generalmente integrado de un sistema de paletas, impulsadas por el viento, que convierten la energía cinética en energía mecánica; un sistema de orientación; del conjunto de paletas, para maximizar el aprovechamiento del viento; un sistema de control y protección; un sistema mecánico multiplicador de la velocidad de rotación; generador eléctrico (asíncrono o de inducción); medidor bidireccional (de energía generada) y la carga a la que se suministrará energía.

La torre es el componente que sustenta el conjunto del aerogenerador y le une al suelo. Se suele realizar en distintos materiales (fundamentalmente acero), bien en base a una estructura tubular o bien, a un montaje en celosía (tipo andamio) formado por perfiles laminados. Los componentes de la torre se protegen de la corrosión mediante galvanizado en caliente, y se van realizando amarres entre ellos de forma frecuente.

La electricidad producida en el generador baja a lo largo de la torre por unos cables hasta un convertidor, donde es transformada y enviada a la red eléctrica de forma óptima o bien, en una instalación aislada será enviada sin convertir a un modulo de baterías o acumulador.

Para que un aerogenerador se ponga en marcha necesita de un valor mínimo del viento para vencer los rozamientos y comenzar a producir trabajo útil, a este valor mínimo se le denomina velocidad de conexión, sin la cual no es posible arrancar un aerogenerador (esta velocidad está comprendida entre 3-5 m/s). Aunque continúe operando a velocidades mayores, la potencia que entrega no será diferente a la nominal, esto se producirá hasta que alcance la velocidad de corte, donde, por razones de seguridad, se detiene (esta velocidad se considera a partir de 25 m/s); se pliegan las palas y la máquina deja de producir energía. **[15]**

Los aerogeneradores más pesados han mostrado ser más robustos y seguros que los aerogeneradores ligeros. Mick Sagrillo es un defensor de lo que él llama “la escuela del metal pesado” del diseño de pequeños aerogeneradores “los aerogeneradores más pesados y mas macizos sobreviven corrientemente más tiempo”. En este sentido “más pesado” se refiere al peso o masa del aerogenerador en relación con el área de barrido del rotor. Bajo este criterio un aerogenerador que tiene una masa relativa de 10 kg/m² es más robusto que otro con una masa relativa de 5 kg/m² **[5, 41]**

La clasificación en cuanto al tamaño depende tanto del diámetro del rotor como de la capacidad del generador. En general, las pequeñas turbinas eólicas son las máquinas que producen desde unos pocos vatios hasta 10-20 kW, alcanzando velocidades de 800, 900 hasta 1200 rpm. Las turbinas en el límite superior de este rango trabajan con rotores de 7-9 metros de diámetro.

Las pequeñas turbinas eólicas pueden ser subdivididas en microturbinas, las más pequeñas de las turbinas eólicas; miniturbinas y turbinas de tamaño doméstico. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas tienen un área activa de 0.2 m² y pueden producir un promedio de 100 kWh/año.

Los aerogeneradores o turbinas de tamaño doméstico son adecuados para viviendas, fincas, granjas, pequeños negocios y telecomunicaciones. Son capaces de generar desde 2000 kWh hasta 20000 kWh por año en lugares con vientos de 5.5 m/s

En instalaciones pequeñas, los generadores eólicos utilizados son generalmente dínamos de corriente continua o alternadores. La producción de corriente continua en este tipo de escala es conveniente porque permite almacenamiento en acumuladores. Sin embargo, los alternadores, que generan en corriente alterna, pueden usarse para corriente continua con un rectificador. [29]

Figura 7. Miniturbina eólica de uso domestico



Las turbinas eólicas que suministran energía a redes de corriente alterna de frecuencia constante alimentadas también por otras fuentes de energía, giran a velocidad constante o casi constante, debido a la existencia de un par de sincronización que actúa sobre la máquina eléctrica; ya sea ésta, alternador o máquina asíncrona del equipo eólico.

Las turbinas o aerogeneradores más grandes tienen una superficie activa de 10,200 m², con una potencia de 4.5 MW, puede producir 9,000 MWh anuales. [4, 122]

Dependiendo del eje de rotación, las máquinas eólicas se clasifican en:

De eje vertical, las hélices de las máquinas giran alrededor de un eje vertical. Son muy poco usadas para la generación de electricidad debido a que su diseño no les permite girar a altas velocidades; su rendimiento es muy bajo para la generación de electricidad.

De eje horizontal son las más utilizadas. Con esta configuración se ha alcanzado el mayor rendimiento de captación energética del viento. Según el tipo de construcción se las puede clasificar a su vez en eólicas lentas o multipala y eólicas rápidas

Figura 8. Aerogenerador de eje vertical (izquierda) y aerogenerador de eje horizontal (derecha)



Fuente: Referencia electrónica 14

1.1.3.2 Aplicaciones de la energía eólica

Las aplicaciones de la energía eólica se pueden clasificar, según su ámbito, como:

Las **aplicaciones centralizadas**, caracterizadas por la producción de energía eléctrica en cantidades relativamente importantes, vertidas directamente a la red de distribución.

Aerogeneradores de gran potencia: se están llevando a cabo experiencias con aerogeneradores en el rango de potencias de los MW con grandes esperanzas, ya que la potencia que se puede instalar es de gran tamaño.

Parques eólicos: se trata de centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana o gran potencia conectados entre sí, que vierten su energía conjuntamente a la red; la generalización de estas instalaciones contribuye a una importante producción de electricidad de origen eólico; éstos iniciaron a popularizarse en las décadas de los 80s y 90s.

Un parque eólico usa la misma tecnología básica que un pequeño sistema, aunque a una escala mayor. Generalmente, se coloca una serie de turbinas grandes (desde 100 hasta 2,000 kW), que pueden ser de decenas a centenares, en un sitio con condiciones de viento muy favorable. Aparte de la escala, la otra gran diferencia con sistemas pequeños es la ausencia de baterías, y que se conectan directamente a la red eléctrica existente.

También están los pequeños sistemas eólicos conectados a la red, si la legislación del sector eléctrico lo permite. Esto es aplicable en los casos en que exista una red en las proximidades del centro de consumo. En este esquema, la energía requerida por el usuario sería suministrada por el sistema eólico y por la red eléctrica. Si el aerogenerador produce energía en exceso, se entrega el excedente a la red eléctrica y, si se produce menos energía de la requerida, se toma de la red.

Las **aplicaciones autónomas** de máquinas eólicas de pequeña potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen. Las posibilidades que existen en este ámbito se pueden dividir en tres grupos, según el tipo de energía utilizada en cada caso:

- Energía mecánica: aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal, o centrífugas.
- Energía térmica: obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o bien por compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor.
- Energía eléctrica: aplicación más frecuente, pero que obliga a un sistema de almacenamiento en baterías, cuando el viento no es suficiente.

Las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

Sistemas individuales que se refieren a la de generación eléctrica para una vivienda. Generalmente, cuenta con un pequeño aerogenerador, una o más baterías para almacenar la energía generada y un regulador que controla la carga y descarga de las baterías. Dependiendo de la aplicación, puede incluir un inversor para transformar la electricidad de corriente directa en alterna a 110 ó 220 voltios.

La generación eólica se hace más atractiva económicamente con una demanda de electricidad más alta. Se estima que si la demanda es superior a 10 kWh por día, un sistema eólico es más barato que un fotovoltaico, aunque esto depende de la disponibilidad de los recursos naturales para las dos fuentes. Esto hace que, si las viviendas a electrificar se encuentran relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema eólico centralizado debido a la concentración de equipos y energía, lo cual ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico.

Un sistema eólico centralizado satisface la demanda energética de una comunidad con electricidad producida, almacenada y transformada en un "sistema eólico central" y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas y otros sitios. Generalmente, este tipo de sistemas cuenta con más de una fuente de generación, para lograr mayor confiabilidad.

Bombeo de agua y riego, acondicionamiento y refrigeración de almacenes, de productos agrarios, secado de cosechas, calentamiento de agua, acondicionamiento de naves de cría de ganado, alumbrado y usos eléctricos diversos; repetidores de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. **[16]**

1.1.4 Energía geotérmica

Geotérmico proviene del griego *geo*, "Tierra", y *thermos*, "calor"; literalmente "calor de la Tierra". La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que cabe destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc.

En algunas zonas de la Tierra, las rocas del subsuelo se encuentran a temperaturas elevadas. La energía almacenada en estas rocas es energía geotérmica.

Se obtiene energía geotérmica por extracción del calor interno de la Tierra. En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se perfora por fracturas naturales de las rocas basales o dentro de rocas sedimentarias. El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua y de vapor (*flashing*). El método a elegir depende de lo que sea económicamente rentable. Un ejemplo, en Inglaterra, es el "Proyecto de Piedras Calientes HDR" (sigla en inglés: HDR, *Hot Dry Rocks*), abandonado después de comprobar su inviabilidad económica en 1989. Los programas HDR se están desarrollando en Australia, Francia, Suiza, Alemania. [17]

La energía geotérmica tiene varias ventajas: el flujo de producción de energía es constante a lo largo del año ya que no depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, etc. Es un complemento ideal para las plantas hidroeléctricas.

Las perforaciones modernas en los sistemas geotérmicos alcanzan reservas de agua y de vapor, calentados por magma mucho más profundo, que se encuentran hasta los 3.000 metros bajo el nivel del mar. El vapor se purifica en la boca del pozo antes de ser transportado en tubos grandes y aislados hasta las turbinas. La energía térmica puede obtenerse también a partir de géiseres y de grietas.

1.1.4.1 Tipos de yacimientos geotérmicos

Se encuentran yacimientos geotérmicos según la temperatura a la que sale el agua:

- Energía geotérmica de alta temperatura: existe en las zonas activas de la corteza. Esta temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad.

Se requieren varias condiciones para que se dé la posibilidad de existencia de un campo geotérmico: una capa superior compuesta por una cobertura de rocas impermeables; un acuífero o depósito, de permeabilidad elevada, entre 0,3 y 2 km de profundidad; suelo fracturado que permite una circulación de fluidos por convección, y por lo tanto la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 15 km de profundidad, a 500-600 °C.

La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones, según técnicas casi idénticas a las de la extracción de petróleo.

- Energía geotérmica de temperaturas medias: es aquella en la que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70°C y 150°C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse por medio de un fluido volátil. Estas fuentes permiten explotar pequeñas centrales eléctricas, pero el mejor aprovechamiento puede hacerse mediante sistemas urbanos, reparto de calor para su uso en calefacción y en refrigeración (mediante máquinas de absorción)

- Energía geotérmica de baja temperatura: es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 50 a 70 °C.

Las fronteras entre los diferentes tipos de energías geotérmicas es arbitraria; si se trata de producir electricidad con un rendimiento aceptable la temperatura mínima está entre 120 y 180 °C, pero las fuentes de temperatura más baja son muy apropiadas para los sistemas de calefacción urbana. [17]

Como energía renovable está ligada a volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, es decir, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre. "La actividad volcánica sirve como mecanismo de transporte de masa y energía desde las profundidades terrestres hasta la superficie. Se relaciona con dos tipos de recursos explotables por el ser humano: la energía geotérmica y algunos tipos de yacimientos minerales, que son depósitos de origen magmático e hidrotermal". [18]

La geotermia desprende algunos residuos de azufre y de bióxido de carbono e hidróxido de azufre que se pueden limpiar antes de llegar a la atmósfera.

En centrales geotérmicas, el vapor, el calor y el agua caliente de las reservas geotérmicas proporcionan la fuerza que hace girar los generadores de la turbina, y produce electricidad. El agua geotérmica utilizada es posteriormente devuelta a inyección al pozo hacia la reserva para ser recalentada, para mantener la presión y para sustentar la reserva.

Figura 9. Geotermoeléctrica en Cerro Prieto, Mexicali, Baja California, México



Fuente: www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/visitasvirtuales/cerrorietogeotermoelectrica

Hay tres tipos de centrales geotérmicas. El tipo que se construya depende de las temperaturas y de las presiones de la reserva.

Una reserva de vapor "seco" produce vapor pero muy poca agua. El vapor es entubado directamente en una central de vapor "seco" que proporciona la fuerza para girar el generador de turbina. El campo de vapor seco más grande del mundo es The Geysers, unas 90 millas al norte de San Francisco. [18]

Una reserva geotérmica que produce mayoritariamente agua caliente es llamada "reserva de agua caliente" y es utilizada en una central "flash". El agua que se encuentra entre 130 y 330°C es elevada a la superficie a través del pozo de producción donde, por medio de la presión de la reserva profunda, cierta cantidad de agua se convierte inmediatamente en vapor en un separador. El vapor luego mueve las turbinas.

Una reserva con temperaturas entre 110 y 160°C no tiene suficiente calor para producir rápidamente suficiente vapor pero puede ser utilizada para producir electricidad en una central binaria.

En un sistema binario, el agua geotérmica pasa a través de un intercambiador de calor, donde el calor es transferido a un segundo líquido que hierve a una temperatura menor que el agua. Cuando es calentado, el líquido binario se convierte en vapor, lo que ocurre con el vapor de agua, se expande y mueve las hélices de la turbina. El vapor es luego recondensado y convertido en líquido y utilizado repetidamente. En este ciclo cerrado, no hay emisiones al aire.

Las plantas geotérmicas, así como las eólicas y solares, no queman combustibles para producir vapor que haga girar las turbinas. La generación de electricidad con energía geotérmica ayuda a conservar los combustibles fósiles no renovables y con el menor uso de estos combustibles, se reducen las emisiones que ensucian la atmósfera.

Hay un aire sin humo alrededor de las plantas geotérmicas, de hecho algunas están construidas en medio de granjas de cereales o bosques, y comparten tierra con ganado y vida silvestre local.

El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por megavatio es menor que otro tipo de plantas generadoras. Las instalaciones geotérmicas no necesitan intervenir ríos o talar bosques, no hay instalaciones mineras, túneles, piscinas de desecho ni fugas de combustible.

Las plantas geotérmicas están diseñadas para funcionar las 24 horas del día durante todo el año. La central geotérmica es resistente a interrupciones de generación de energía debidas al tiempo, desastres naturales o acontecimientos políticos, que puedan interrumpir el transporte de combustibles.

1.1.5 Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica aprovecha el movimiento del agua para convertirlo en corriente eléctrica comercial. La primera vez que esto se hizo fue en Northumberland (Gran Bretaña) en 1880 y es una tecnología que se sigue aprovechando en la actualidad con pocas modificaciones. **[14]**

Alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente; es por tanto, una energía renovable pero no alternativa, porque se viene usando desde hace muchos años como una de las fuentes principales de electricidad

El funcionamiento es sencillo, convierte la energía potencial del agua a cierta altura en energía eléctrica. Se permite la caída del fluido y la energía potencial se convierte en energía cinética alcanzando gran velocidad en el punto más bajo; en este punto se hace pasar por una turbina, provocando un movimiento rotatorio en el generador; que a su vez se convierte en energía eléctrica, de tensión y frecuencia desordenadas. Una vez extraída la energía eléctrica, el agua se devuelve al río para su curso normal, se puede aprovechar nuevamente, para obtener energía eléctrica aguas abajo o para el consumo humano.

Para aprovechar la energía hidroeléctrica se necesita agua estancada en un embalse o presa, situada a una altura por encima del cauce habitual del río. Se denomina salto de agua, a la diferencia de altura entre el nivel superior e inferior. La ventaja principal respecto a otras energías renovables es que el caudal de agua puede ser controlado.

La energía hidroeléctrica es un recurso natural, especialmente indicado para zonas lluviosas o por las que circulan ríos caudalosos. Es recomendable que estos ríos tengan cauces poco variables; aunque en el caso de ríos con caudales oscilantes se pueden usar los embalses para el almacenamiento de agua en tiempos de sequía.

El principal problema que presentan es que necesita invertir grandes sumas de dinero por lo que en regiones donde abundan petróleo o carbón no suele ser competitiva; además, la construcción de centrales hidroeléctricas implica un gran impacto ambiental al ser necesaria la inundación de valles y desplazamiento de población; también se modifican las condiciones físicas y químicas del río como salinidad, temperatura, nutrientes, etc.; ya que el agua embalsamada altera las condiciones naturales del río.

1.1.5.1 Tipos de centrales hidroeléctricas

A grandes rasgos, las centrales hidroeléctricas se pueden dividir en tres tipos: centrales de agua fluyente, centrales de embalse y centrales de bombeo. Las centrales hidroeléctricas contribuyen notablemente al aseguramiento de la carga base y la estabilidad de la red, algunas son capaces de almacenar energía.

- *Central de agua fluyente:* llamada también central de pasada o a filo de agua, es el tipo más utilizado, utilizan turbinas que aprovechan toda la energía de un río o canal; su potencia viene determinada por el caudal y el nivel del agua.

Algunas centrales de agua fluyente pueden embalsar agua cuando la demanda energética es baja y utilizarla posteriormente como reserva al aumentar dicha demanda. Un tipo especial de central de agua fluyente es la central de aprovechamiento por derivación; en este caso, el agua se embalsa mediante una presa y se introduce en las turbinas por medio de un canal de agua motriz independiente.

Mientras que una central de agua fluyente normal sólo cuenta con una pequeña diferencia de altura entre el nivel del agua superior e inferior. La central de aprovechamiento por derivación se beneficia del mayor desnivel creado por el embalse.

- *Central de embalse:* en ésta, el agua se estanca en un lago de origen natural o artificial y se dirige a la central, situada a un nivel inferior, mediante tuberías forzadas; el salto de agua acciona las turbinas. Estas centrales son especialmente idóneas tanto para equilibrar las fluctuaciones en la producción de electricidad a nivel regional y nacional como para el consumo; ya que pueden funcionar independientemente de la afluencia de agua.

- *Centrales de bombeo:* a diferencia de la central de embalse, la central de bombeo trabaja con dos depósitos de agua, uno inferior y otro superior, con el mayor desnivel posible. Cuando la oferta de electricidad supera la demanda y los excesos de capacidad están disponibles, el agua se bombea desde el depósito inferior hasta la superior y espera a ser utilizada para la generación de corriente en los momentos de carga máxima. Para el accionamiento del generador se emplean turbinas de impulso; a través de una o varias toberas, el agua se lanza a gran velocidad contra los alabes del rodete.

En las centrales de alta presión, el agua proveniente de un embalse circula a gran velocidad por el interior de una tubería bajo presión y recalca en una central situada a un nivel inferior. Debido al gran salto se crea una mayor presión en las turbinas, las cuales accionan el generador de corriente alterna.

[19]

Figura 10. Hidroeléctrica Complejo Paulo Afonso-Sobradinho de 3.510 MW en el río Sao Francisco, Brasil



Fuente: http://www.soberania.org/Articulos/articulo_2344.htm

1.1.6 Energía Biomasa

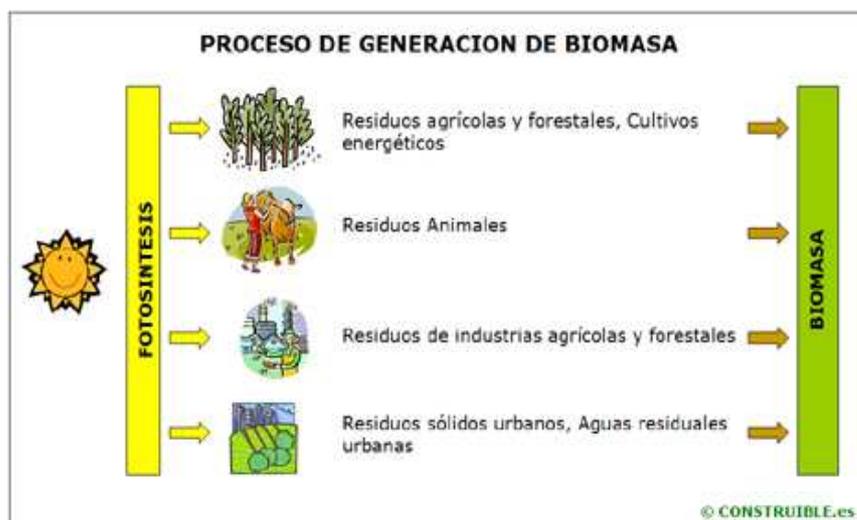
La biomasa abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo.

Es una fuente de energía procedente de manera indirecta del sol y puede ser considerada una energía renovable siempre que se sigan unos parámetros medioambientales adecuados en su uso y explotación.

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal, que a su vez da origen a la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua, productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos [13]. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono.

La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal.

Figura 11. Proceso de generación de biomasa



Dependiendo si los materiales orgánicos resultantes han sido obtenidos a partir de la fotosíntesis o bien, son resultado de la cadena biológica se pueden distinguir dos tipos de biomasa:

- Biomasa vegetal, resultado directo de la actividad fotosintética de los vegetales.
- Biomasa animal: se obtiene a través de la cadena biológica de los seres vivos que se alimentan de la biomasa vegetal.

Tanto la biomasa vegetal como la biomasa animal, producidas, no son utilizadas por el hombre en su totalidad; lo que conlleva a la generación de residuos sobrantes de la misma. Por tanto, la biomasa energética puede definirse como materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial y los residuos generados en su producción y consumo.

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la acuicultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas, se usan generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de los combustibles fósiles.

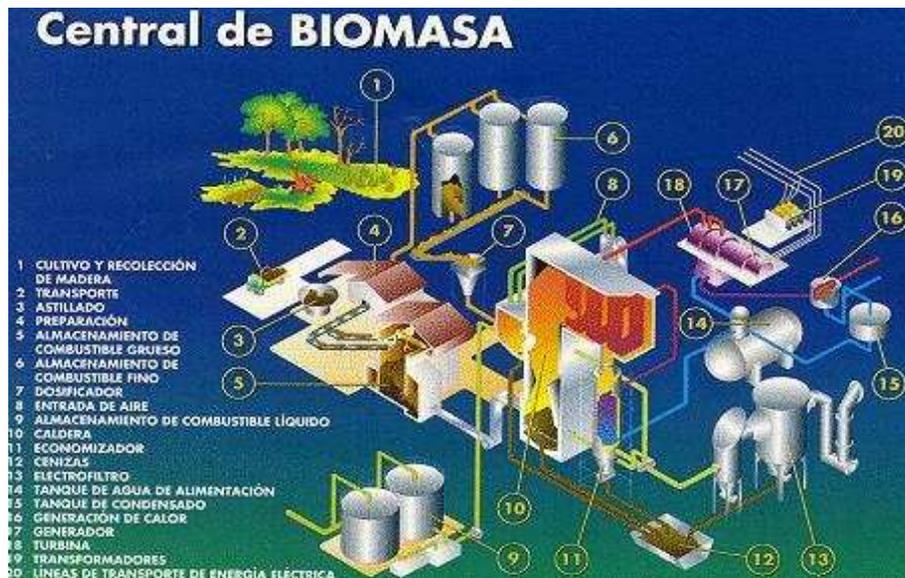
Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en desarrollo y a usos primarios en pequeña escala, por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, calderas, secado de granos, etc. Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como las algas, para producir combustibles líquidos como etanol y biodiesel.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía limpia.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra, hasta procesos de alta eficiencia como la cogeneración.

Como se ha mencionado anteriormente, la energía de la biomasa se puede obtener a partir de vegetación natural, residuos forestales y agrícolas (restos de poda, pajas, rastrojos) o cultivos específicos, como el girasol y la remolacha (cultivos energéticos).

Figura 12. Diagrama de proceso de una central de generación eléctrica a partir de biomasa



Fuente: Referencia electrónica 12

Una central de biomasa quema este tipo de combustible para producir vapor de agua, el cual mueve una turbina que, conectada a un generador, produce electricidad.

Otra forma de generación eléctrica con la energía de biomasa, es la fermentación metánica, que no es más que la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias, idónea para la transformación de la biomasa húmeda (más del 75 % de humedad relativa). En los fermentadores o digestores, la celulosa es esencialmente la sustancia que se degrada en un gas, que contiene alrededor de 60 % de metano y 40 % de gas carbónico.

El problema principal consiste en la necesidad de calentar el equipo, para mantenerlo a la temperatura óptima de 30-35°C. No obstante, el empleo de digestores es un camino prometedor hacia la autonomía energética eléctrica de las explotaciones agrícolas, por recuperación de las deyecciones y camas del ganado. Además, es una técnica de gran interés para los países en desarrollo. Millones de digestores ya son utilizados por familias campesinas chinas.

El biogás es un gas producto del resultado de la degradación anaerobia de materia orgánica, dicho gas está compuesto por cerca de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono. Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1% de ácido sulfhídrico. Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de 700°C y su llama alcanza una temperatura de 870°C **[12]**

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. Este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

La digestión anaerobia es considerada como una de las fuentes de energía más económicas y de fácil adquisición para pequeñas comunidades.

El biogás obtenido puede ser utilizado para: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, calefacción ambiental para uso residencial y comercial, calor útil para procesos industriales, funcionamiento de bombas de agua y otras maquinarias agrícolas, motores de combustión interna para energía motriz, y generación de electricidad.

1.2 Tipos de sistemas de generación eléctrica, según su conexión a la red

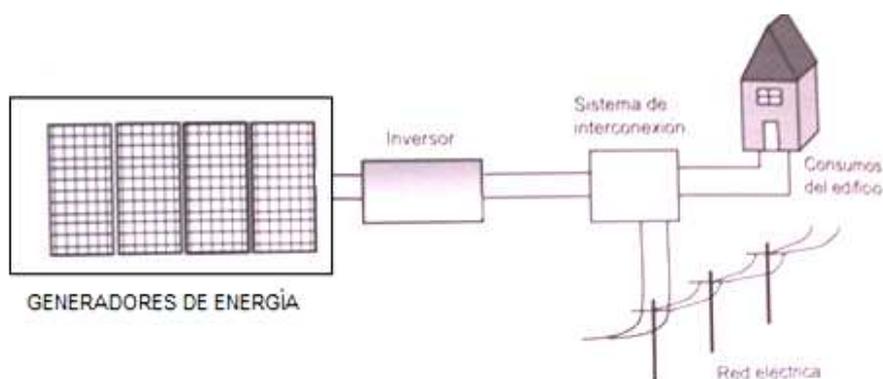
Básicamente, cualquier sistema de generación eléctrica, a partir de energías renovables, puede disponerse en dos modalidades, según las necesidades a cubrir y la conexión del sistema a la red de energía eléctrica.

1.2.1 Sistemas conectados a la red eléctrica

Los sistemas conectados a la red proveen de energía eléctrica al sistema o la inyectan directamente a la red en momentos de sobreproducción; estos sistemas se alimentan de la red cuando es requerido. Por lo tanto, no es necesario vincular el dimensionamiento de la instalación de energía renovable (fotovoltaica, eólica), al consumo estimado de la instalación eléctrica que debe alimentarse; pues esta última se alimenta directamente de la red eléctrica como una instalación eléctrica convencional.

Una instalación conectada a la red eléctrica, tiene menos componentes que una instalación autónoma, debido, a que no se precisa de un sistema de almacenamiento de energía (baterías), ni de un regulador. Estos sistemas suelen necesitar inversores y sistemas específicos que permiten el flujo y control de la energía.

Figura 13. Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica



1.2.1.1 Plantas Fotovoltáicas, Decreto RD1663/2000

Existen sistemas fotovoltaicos conectados a la red, que tienen aplicaciones en ámbitos urbanos como edificios, tejados y fachadas o en grandes plantas de producción de energía. Las centrales o plantas fotovoltaicas pueden ir desde pequeñas instalaciones de 1 a 5 kW de potencia en una terraza o tejado, a instalaciones de hasta 100 kW de potencia sobre cubiertas de naves industriales o en suelo, e incluso plantas de varios megavatios

En estos sistemas, el inversor es muy importante, pues maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga.

Los inversores conectados a la red son los denominados inversores síncronos, se utilizan en instalaciones conectadas a la red de distribución de una compañía eléctrica. Estos deben producir corriente alterna sincronizada con la corriente alterna de la red a la que está interconectada, ambas deben tener idénticas secuencias de fases, tensión y frecuencia que la red eléctrica; además, las formas de onda de la red y del inversor deben estar en fase. Además, la calidad de la forma de onda del inversor debe ser aceptable, de acuerdo con unos estándares determinados.

Este dispositivo transforma la energía continua producida por los módulos (12V, 24V, 48V, etc.) en energía alterna (110V ó 220V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red, con la que trabaja en régimen de intercambio.

Los inversores para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico. Este dispositivo sigue el punto de máxima potencia (MPPT) y tiene justamente la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga.

Otro dispositivo necesario es el de intercambio con la red, sirve para que la energía eléctrica introducida en la red tenga todas las características requeridas por la misma. Y finalmente, el contador de energía mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su período de funcionamiento.

En todos los países existe una legislación que norma la generación eléctrica a partir de energías renovable. En el caso de España, se emitió un decreto sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, Real Decreto 1663/2000 del 29 de septiembre del año 2000; y es de aplicación a las instalaciones fotovoltaicas de potencia nominal no superior a 100 kVA y cuya conexión a la red de distribución se efectúa en baja tensión; entendiéndose por conexión en baja tensión aquella que se efectúa en una tensión no mayor a 1 kV.

A los efectos de este Real Decreto, se entiende por:

- Instalaciones fotovoltaicas: aquellas que disponen de módulos fotovoltaicos (FV) para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, sin ningún tipo de paso intermedio.
- Instalaciones fotovoltaicas interconectadas: aquellas que normalmente trabajan en paralelo con la red de la empresa distribuidora.

- Línea y punto de conexión y medida: la línea de conexión es la línea eléctrica mediante la cual se conectan las instalaciones fotovoltaicas con un punto de la red de la empresa distribuidora o con la acometida del usuario, denominado punto de conexión y medida.

- Interruptor automático de la interconexión: dispositivo de corte automático sobre el cual actúen las protecciones de la interconexión.

- Interruptor general: dispositivo de seguridad y maniobra que permite separar la instalación fotovoltaica de la red de la empresa distribuidora.

- Potencia de la instalación fotovoltaica o potencia nominal: es la suma de la potencia de los inversores que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de funcionamiento.

Se podrán interconectar instalaciones fotovoltaicas en baja tensión siempre que la suma de sus potencias nominales no exceda de 100 kVA. La suma de las potencias de las instalaciones en régimen especial conectadas a una línea de baja tensión no podrá superar la mitad de la capacidad de transporte de dicha línea en el punto de conexión, definida como capacidad térmica de diseño de la línea en dicho punto. En el caso de que sea preciso realizar la conexión en un centro de transformación, la suma de las potencias de las instalaciones en régimen especial conectadas a ese centro no podrá superar la mitad de la capacidad de transformación instalada para ese nivel de tensión. En caso de desacuerdo, será de aplicación lo previsto en el artículo 4.5 del Real Decreto.

Si la potencia nominal de la instalación fotovoltaica a conectar a la red de distribución es superior a 5 kW, la conexión de la instalación fotovoltaica a la red será trifásica. Dicha conexión se podrá realizar mediante uno o más inversores monofásicos de hasta 5 kW, a las diferentes fases, o directamente un inversor trifásico.

En la conexión de una instalación fotovoltaica, la variación de tensión provocada por la conexión y desconexión de la instalación fotovoltaica no podrá ser superior al 5 por 100 y no deberá provocar, en ningún usuario de los conectados a la red, la superación de los límites indicados en el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

El factor de potencia de la energía suministrada a la empresa distribuidora debe ser lo más próximo posible a la unidad. Las instalaciones fotovoltaicas conectadas en paralelo con la red deberán tomar las medidas necesarias para ello o, en su caso, llegar a un acuerdo sobre este aspecto con la empresa distribuidora. [24]

1.2.1.2 Parques eólicos

La explotación de la energía eólica se lleva a cabo, fundamentalmente, para la generación de electricidad que se vende a la red. Con esta intención se instalan un conjunto de turbinas que forman un parque o granja eólica. Cada parque cuenta con una central de control de funcionamiento que regula la puesta en marcha de los aerogeneradores, controla la energía generada en cada momento, etc.

Los sistemas de energía eólica conectados a red están representados por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes (más de 10 ó 100 kW); aunque en determinados casos, es factible la conexión de modelos más pequeños, siempre teniendo en cuenta los costes de enganche a la red. Estos sistemas no acostumbran a utilizar inversores, ya que los aerogeneradores están compuestos de generadores asíncronos o de inducción.

Las principales razones por las que se instalan parques eólicos son que el agrupamiento de las turbinas o aerogeneradores permite aprovechar mejor las posibilidades energéticas del emplazamiento, reducir costes y evacuar la energía desde un solo punto, con lo que se reduce el número de líneas de transporte y se minimizan posibles impactos ambientales

Se considera que el grado de penetración de la energía eólica en grandes redes de distribución eléctrica, puede alcanzar sin problemas del 15 al 20% del total, sin especiales precauciones en la calidad del suministro, ni en la estabilidad de la red. En la isla de Fuerteventura en las Islas Canarias, los 20 MW del PE Cañada del Río cubren el 25% de las necesidades eléctricas de la isla; en el sur de Argentina donde no cuentan con vientos muy regulares y no están muy desarrolladas las líneas eléctricas se llega al 50% de penetración, actualmente están estudiando la producción de hidrógeno, y ser utilizado como sustituto del gas en centrales eléctricas convencionales cuando no hay viento.

[7,35]

Figura 14. Parque eólico en Tilarán, Costa Rica.



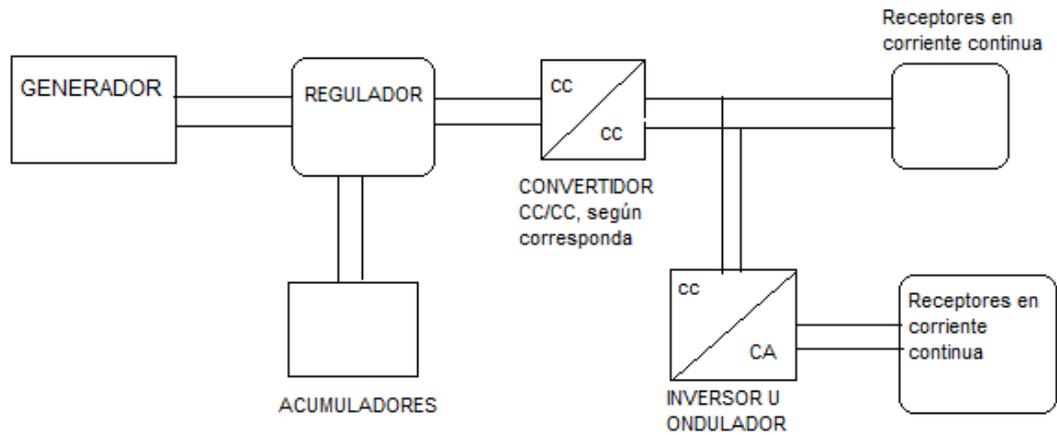
Fuente: Manual de energía eólica Costa Rica, BUN-CA

1.2.2 Sistemas aislados a la red eléctrica

Los sistemas aislados o autónomos son específicos de aplicaciones donde la red de distribución eléctrica no es disponible. Estos sistemas, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente deben estar equipados con sistemas de acumulación de la energía generada, baterías electroquímicas o acumuladores; a fin de disponer de electricidad durante períodos de poca generación de energía o de elevada demanda, con su correspondiente controlador de carga o regulador. También puede llevar asociado un sistema electrónico, inversor, que permita la transformación de la corriente continua suministrada por el captador de energía (paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, minihidroeléctrica u otro), en corriente alterna.

En cualquier aplicación de un sistema aislado se recomienda el uso de receptores eléctricos (electrodomésticos, lámparas, electro bombas, etc.) de bajo consumo y alto rendimiento, a fin de reducir, el dimensionado de los componentes del sistema.

Figura 15. Diagrama de un sistema aislado a la red eléctrica



Dentro de estos sistemas se encuentran los **sistemas fotovoltaicos aislados** que se emplean comúnmente en zonas de difícil acceso o en lugares alejados de la red de distribución eléctrica. Con lo que se suministra electricidad a casas de campo, refugios de montaña, bombeos de agua, instalaciones agrícolas y ganaderas, sistemas de iluminación o balizamiento, sistemas de comunicaciones y señalización: navegación aérea y marítima, señalización de carreteras, repetidoras de telecomunicaciones, sistemas de depuración de aguas.

Estos sistemas necesitan acumulación, debido a que el campo fotovoltaico, puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche; por tanto, es necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula.

Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

También están los **sistemas eólicos aislados** por medio de pequeña o mediana potencia, para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, irrigación, etc.); incluso en instalaciones industriales para desalación, producción de hidrógeno, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, etc. Estos sistemas que no están conectados a la red de suministro, requieren el uso de baterías para almacenar la energía excedente generada, y usarla cuando no exista viento. Asimismo, requieren un controlador de carga para proteger a las baterías de una sobrecarga.

Las baterías de ciclo profundo, como las usadas en los carros de golf, tienen la capacidad de descargarse y recargarse cientos de veces hasta en un 80% de su capacidad, lo cual las hace una buena opción para sistemas de energía renovable remotos.

Las pequeñas turbinas eólicas generan energía eléctrica en corriente directa. En estos pequeños sistemas, las aplicaciones en corriente directa obtienen su energía directamente de la batería. Si se desea hacer uso de aplicaciones normales en corriente alterna, debe instalarse un inversor para rectificar la corriente directa de las baterías a corriente alterna; este dispositivo disminuye ligeramente la eficiencia global del sistema.

Otra aplicación de un sistema aislado es el **sistema híbrido o mixto**, que no es más que la combinación de dos o más fuentes de generación de electricidad para cumplir con las demandas de consumo (potencia mayor) cuando no se puede garantizar el suministro de energía por un solo sistema. Puede ser la combinación de energías renovables o la combinación de cierta energía renovable con energía no renovable

En cualquier caso, se trata de sistemas muy especializados y que pueden resultar caros al principio, según el tamaño previsto y las necesidades de la instalación. Los expertos del sector sugieren realizar un estudio previo para conocer si se trata de la mejor opción o si basta con un sistema puro de cualquier tipo de renovable.

Las posibles combinaciones permiten el desarrollo de diversos tipos de sistemas mixtos, favoreciendo además la instalación de sistemas de energía renovable en lugares donde un sistema puro no proporcionaría un suministro constante de energía a lo largo del año. Por ejemplo, se puede plantear un sistema fotovoltaico y mini hidráulico cuando la corriente de agua no cubre toda la demanda de energía, bien porque es pequeño o por ser fluctuante.

En este sentido, suele suceder que en verano el torrente de agua disminuya considerablemente, momento idóneo para la utilización de paneles fotovoltaicos, que tienen su máxima disponibilidad en esta estación.

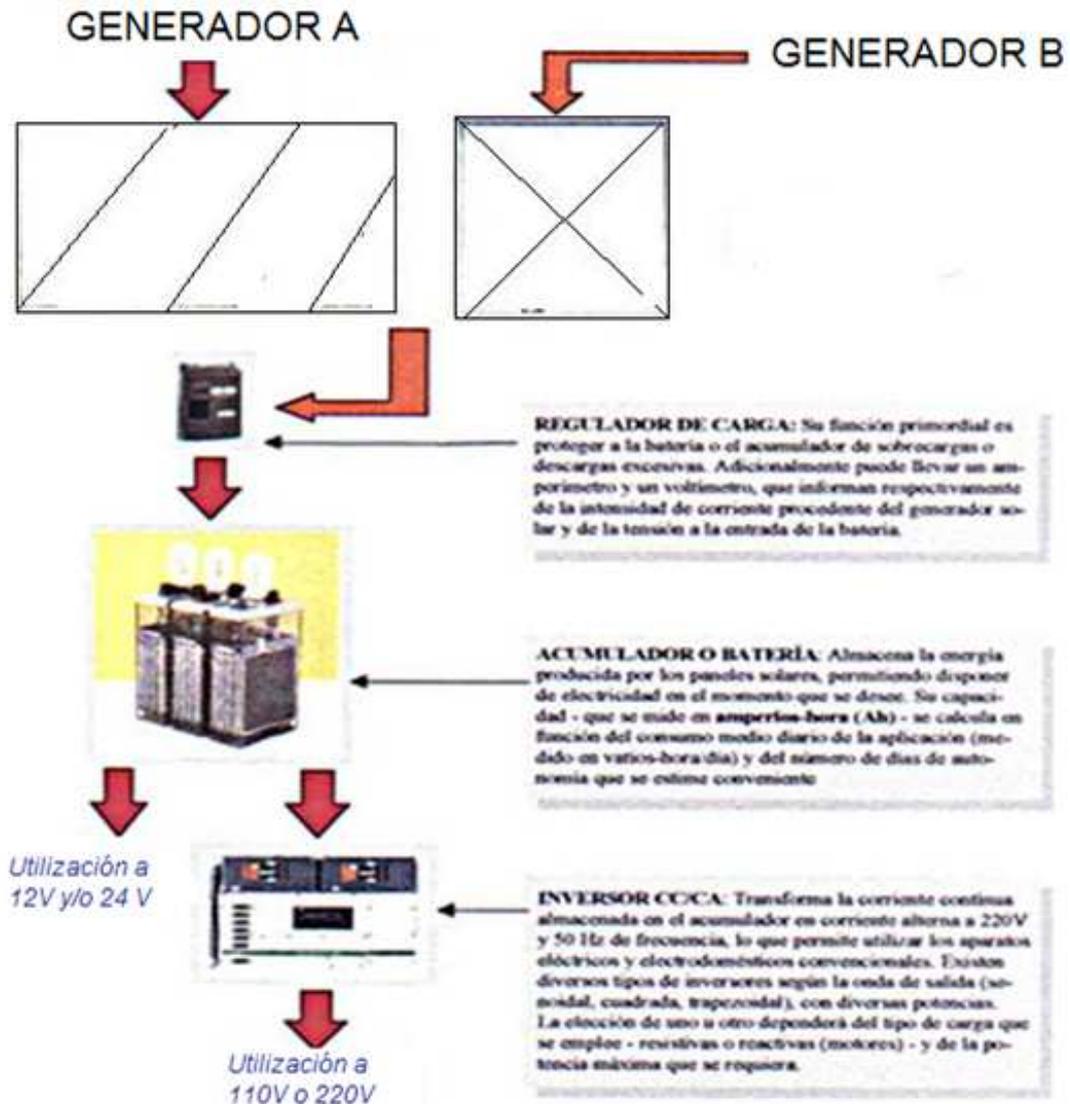
Otra posibilidad es la unión de una instalación solar fotovoltaica y un grupo electrógeno. Aunque este último no es un sistema de energía renovable, puede servir como sistema auxiliar para momentos de déficit solares, o para cubrir consumos puntuales de elevada potencia.

La utilización de generadores auxiliares (diesel, gasolina o propano), producen potencia AC que puede utilizarse directamente por los consumos AC mediante un interruptor. Esta potencia también puede ser utilizada por un rectificador para recargar las baterías del sistema. En este caso, son especialmente recomendables cuando las baterías están bajas de carga o hay una demanda de consumo muy elevada. El grupo electrógeno se pone en marcha suministrando energía a la instalación y cargando simultáneamente las baterías hasta que adquieren un nivel óptimo. De esta manera, se alarga la vida útil del sistema y se hace un uso más racional de la energía.

También está el sistema eólico-solar fotovoltaico que es una unión muy eficiente, “creada por el cielo”. Las dos fuentes y tecnologías son complementarias; que unidas, no solo mejoran la fiabilidad de los sistemas aislados sino que también los hacen más rentables que cuando intervienen separadamente.

El impulso al empleo de las pequeñas máquinas eólicas, fundamentalmente micro y mini-aerogeneradores, se ha originado por el interés en complementar sistemas fotovoltaicos.

Figura 16. Esquema de un sistema mixto de generación eléctrica con energías renovables



1.2.2.1 Subsistema de acumulación de energía eléctrica

Las instalaciones de sistemas de generación eléctrica aislados o no conectados a la red eléctrica, tienen la característica principal de necesitar un sistema de almacenamiento para hacer frente a las demandas energéticas en los períodos en los que no hay producción de energía. La forma más común para almacenar la energía eléctrica producida se basa en el empleo de acumuladores electroquímicos o baterías.

Una batería almacena electricidad para ser utilizada durante la noche en el caso de la energía solar o para satisfacer la demanda energética de las cargas cuando los módulos o el aerogenerador no están generando suficiente potencia para ello, es decir, cuando las condiciones meteorológicas no son buenas.

Un acumulador electroquímico es una pila que puede regenerarse mediante el paso de una corriente eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga. De hecho, los acumuladores actúan como pilas durante la descarga y como células electrolíticas durante la carga. La fuerza electromotriz que producen es pequeña, por lo que, se asocian varios acumuladores constituyendo una batería

Las características más importantes de las baterías son las siguientes:

1. Capacidad: es la cantidad de carga eléctrica que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, manteniéndose la tensión entre bornes próxima al valor nominal.

La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga. Si este tiempo es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que si el tiempo de las descarga aumenta haciéndose ésta lenta, la capacidad de la batería aumenta. En definitiva, si hay un acumulador de 180 Ah medido a 10 horas de descarga, significa que el acumulador puede dar 18 A durante 10 horas o 180 A durante 1 hora

Existe un amplio rango comercial de capacidades, que oscilan entre los 50 y los 4000 Ah, aproximadamente. La capacidad disponible en la batería se ve afectada principalmente por la temperatura a la que ésta se encuentra sometida; disminuyendo a medida que la temperatura disminuye o bien aumentando si la temperatura aumenta.

2. Capacidad energética: es el número total de Wh que pueden ser extraídos de un acumulador plenamente cargado, siendo igual al producto de su capacidad (expresada en Ah) por su tensión (expresada en V)

Tabla I. Energía específica y densidad de energía de distintos tipos de baterías

Batería	Energía específica Wh/kg	Densidad energética Wh/l	Potencia específica W/kg	Densidad de potencia W/l
Plomo-acido	30-40	70-75	~200	~400
Niquel-cadmio	40-60	70-100	150-200	220-350
Nique-metal hidruro	50-65	140-200	~200	450-500
Ion-litio	90-120	200-250	>500	500-600
Polímero-litio	100-200	150-300	>200	>350
Zinc-aire	140-180	200-400	~150	~200

Fuente: Referencia bibliográfica 9, página 200, tabla10.4

3. Régimen de carga/descarga: es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Este régimen está generalmente normalizado para la capacidad de la batería.

4. Tensión o voltaje: la tensión de las baterías es distinta en circuito abierto (en vacío) y en carga. La batería se puede considerar como una fuente de tensión continua, presente ésta entre los terminales o bornes positivo y negativo de la misma

Tabla II. Voltaje medio de una célula de batería durante la descarga en distintas baterías recargables

Batería	Celda(V)
Plomo-acido	2.0
Níquel-cadmio	1.2
Níquel-hidruro de metal	1.2
Ion-litio	3.6
Polímero-litio	3.0
Zinc-aire	1.2

Fuente: Referencia bibliográfica 9, página 187, tabla 10.1

Los voltajes nominales más comunes son 6 y 12 V. Sin embargo se ofrecen modelos con voltajes de salida de 24 y 48 V para sistemas con cargas de alto consumo. Las baterías solares usan diferentes tipos de celdas, pero todas tienen un bajo valor para el voltaje de salida, el que oscila entre 1.2 y 2 V nominales. Esto significa que, como en el caso de las células fotovoltaicas, las celdas deberán conectarse en serie para alcanzar el voltaje nominal de salida, y en paralelo para aumentar el valor de la máxima corriente de carga que podrán sostener en forma continua.

Las baterías de 12 V se presentan en capacidades de hasta 400Ah, aproximadamente. Para capacidades superiores deben utilizarse elementos o vasos de 2 V, que es lo habitual en instalaciones de electrificación de viviendas y usos profesionales con consumo y autonomía [3, 25-1]

5. Profundidad de descarga: no es más que la cantidad de energía extraída de un acumulador totalmente cargado durante una descarga, expresado en tanto por ciento con respecto a la carga máxima. La profundidad máxima de descarga es el valor máximo admisible de la profundidad de descarga para un determinado tipo de acumulador, debiéndose diferenciar entre la profundidad máxima de descarga profunda u ocasional y la profundidad máxima de descarga diaria o superficial, que se ha sacado del acumulador en una descarga.

Las baterías para aplicaciones solares o eólicas deben admitir descargas diarias superficiales o poco profundas entre el 20 y el 30%, y descargas estacionales o puntuales profundas entre el 70 y el 80%, en el entendido de que cuanto menos frecuentes sean estas últimas y menor sea la profundidad de descarga, mayor será la vida útil de los acumuladores.

Para suministrar electricidad durante períodos de tiempo largos, los sistemas aislados requieren baterías de ciclo profundo. Estas baterías normalmente de plomo-ácido, están diseñadas para realizar cientos de ciclos profundos de carga y descarga (aproximadamente entre el 70-80% de su capacidad, quedando únicamente, el 30-20% de carga y posterior recarga completa)

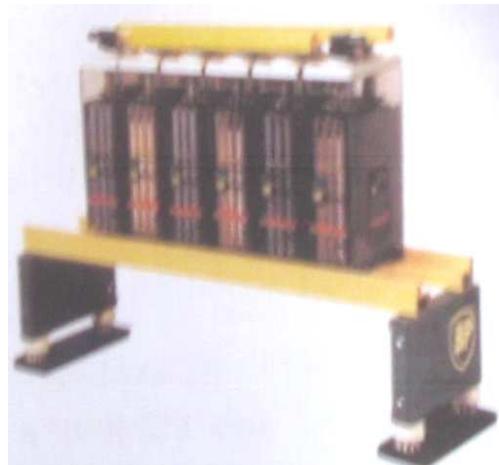
Aquellas baterías cuya descarga rutinaria se encuentra entre el 10-15 % y esporádicamente pueden descargarse a valores más profundos (40-50%). A este grupo pertenecen las baterías sin mantenimiento, pues presentan notables ventajas, sobre todo en aplicaciones remotas como son repetidores, telemetría, etc.

6. Vida útil: período medio de tiempo durante el cual un acumulador es capaz de operar, en determinadas condiciones, manteniendo la capacidad y el nivel de rendimiento. Esta se expresa en ciclos, que se definen como el número de veces que puede soportar la secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados. La vida de una batería depende también del espesor de las placas y de la concentración del electrolito, pero principalmente, de la profundidad de descargas a que se ve sometido, mientras más profundas sean éstas, el número de ciclos de vida disminuye y la batería llega antes a su fin.
7. Rendimiento energético o eficiencia de carga: es la relación entre la energía extraída (Wh) del acumulador durante la descarga y la energía que debe serle suministrada (Wh) para restablecer el estado inicial de carga. La eficiencia de carga de las baterías indica que fracción de la energía suministrada a la batería queda realmente almacenada, por lo que es de suma importancia escoger baterías de alta eficiencia para optimizar el tamaño del campo fotovoltaico. El rendimiento energético de los acumuladores suele estar comprendido entre el 55% y el 80%.

El tamaño del conjunto de baterías va íntimamente relacionado con la potencia que se instalará. Generalmente, por motivos económicos y prácticas, para menos de 4.5 kW suele usarse un banco de 12 V, desde 4.5 a 8kW, se precisan 24 V y para una potencia superior de 8 kW, 48 V

La elección de las baterías en cuanto a su amperaje, sin variar su voltaje, depende básicamente de la autonomía de la que se desee disponer.

Figura 17. Baterías: Elemento típico de 2 V y 1800Ah, de electrolito líquido (izquierda); banco de baterías formado por 6 elementos y 2 V, conectados en serie (derecha)



Fuente: Referencia bibliográfica 3, página18-1

Las baterías utilizadas en un sistema aislado deben admitir alto porcentaje de descarga, éstas suelen llamarse: baterías de ciclo profundo

Se utilizan generalmente baterías de Pb, pero también Ni-Cd o Ni-Fe. Aunque las baterías de Ni-Cd serán eliminadas por la Directiva de la Unión Europea de Residuos Peligrosos.

Plomo-ácido: Este es el tipo más común de batería recargable utilizada hoy debido a su madurez y alto nivel del funcionamiento sobre costo, aun cuando tiene la menor densidad de energía por peso y volumen.

Existen varios, pero la que ofrece el mejor balance entre costo y mantenimiento es la batería de Plomo-ácido y, en particular, la que tiene electrolito líquido. Este tipo, con más de 140 años de existencia, ha evolucionado y continúa evolucionando tecnológicamente.

Las baterías de Pb-ácido, se ofrecen en dos versiones:

- Con electrolito líquido (baterías abiertas).
- Con electrolito gelatinoso o húmedo (baterías herméticas).

Como el costo de la segunda versión es el *doble* de la primera, la batería de Pb-ácido con electrolito líquido es la más usada. El electrolito de estas baterías consiste en una solución con 64% de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de *alto grado de pureza* y 36% de agua destilada (H_2O)

Las baterías de Pb-ácido se pueden clasificar en:

Baterías de arranque, diseñadas para ciclos muy profundos, utilizadas principalmente en el sector de arranque para la automoción, proporcionando elevadas corrientes en cortos periodos de tiempo

Baterías de tracción, diseñadas para ciclados muy profundos, utilizadas en especial en vehículos eléctricos. Estas baterías tienen un número menor de placas pero más gruesas y construidas para una mayor durabilidad. Las rejillas con alto contenido en plomo antimonio mejoran el ciclado profundo

Baterías estacionarias, utilizadas comúnmente en los sistemas de alimentación interrumpida (para sistemas de ordenadores o telecomunicaciones). Están diseñadas para una operación muy esporádica y raramente se descarga. Normalmente éstas se mantienen en un estado de carga de flotación

Las principales características de los distintos tipos de baterías de Pb-ácido son:

En las baterías de Pb-antimonio, el antimonio es el elemento principal en la aleación con plomo en la rejilla. El uso de antimonio proporciona una mayor fortaleza mecánica a las rejillas y altos regímenes de descarga con muy buena profundidad de ciclado. También limitan la pérdida de material activo y tienen un mayor tiempo de vida que las baterías de Pb-calcio, cuando operan a altas temperaturas. Pero tienen una elevada auto-descarga y requieren una frecuente adición de agua. La mayoría son de tipo abierto con tapones recombinante para disminuir el mantenimiento.

En las baterías de Pb-calcio, se utiliza calcio como elemento en la aleación de las rejillas. Poseen baja auto descarga y menor gaseo (menor mantenimiento) que las anteriores. No obstante tienen peor aceptación de carga después de descargas profundas y de menor tiempo de vida bajo descargas repetitivas mayores del 25 %.

Pueden ser de dos tipos: abiertas o selladas (sin mantenimiento, es decir no necesitan que se les añada agua). Las selladas incorporan la cantidad suficiente de electrolito para su tiempo de vida sin necesidad de adición de agua.

Por último, las baterías híbridas, normalmente de tipo abierto, con capacidad en torno a los 200 Ah. El diseño más común utiliza placas positivas tubulares de calcio y placas negativas planas de antimonio, combinando las ventajas de ambos elementos. No obstante es necesario cuidar posibles problemas de estratificación y sulfatación.

Baterías de electrolito inmovilizado, son otro tipo de baterías de plomo-ácido, con la especial característica de tener el electrolito inmovilizado de algún modo. Estas baterías son muy sensibles a los métodos de carga, voltajes de regulación y operación bajo temperaturas extremas. Los dos tipos más comunes de estas baterías son las baterías de gel y las AGM (Absorbed Glass Material) [2, 163]

Níquel-cadmio: El níquel cadmio es una electroquímica, en la que el electrodo positivo es hecho de cadmio y el electrodo negativo de hidróxido de níquel. Los dos electrodos son separados por los separadores de nylonTM y colocados en electrolito de hidróxido de potasio en una cubierta del acero inoxidable. Con una célula sellada y la mitad del peso convencional Pb-ácido, la batería de Ni-Cd se ha utilizado para accionar la mayoría de los usos recargables del consumidor.

Tiene un largo ciclo de vida y es más tolerante a la temperatura que las baterías de Pb-ácido. Pero estas baterías se están reemplazando por baterías NiMH y Li-ion en computadoras portátiles y otros productos electrónicos de alto consumo, debido a los residuos que son emitidos por estas baterías NiCd

Níquel-hidruro metal: NiMH es una extensión de la tecnología de NiCd y ofrece una mejora en el excedente de la densidad de la energía que en NiCd. La diferencia principal de la construcción es que el ánodo está hecho de un hidruro del metal. Este elimina las preocupaciones ambientales del cadmio. Otra mejora del funcionamiento es que tiene un efecto insignificante de la memoria.

NiMH, sin embargo, es menos capaz de suministrar alta energía máxima, tiene una alta velocidad de autodescarga, y es susceptible al daño debido a sobredescargas. Comparado al NiCd, NiMH es costoso en el presente, se espera que el precio disminuya significativamente en el futuro

Li-ion: La tecnología del Li-ion es un nuevo desarrollo, que ofrece tres veces más la densidad de energía que la del Pb-ácido. Una mejora tan grande en densidad de energía viene dada por el peso atómico bajo del litio de 6.9 g/mol contra 207 g/mol para el plomo. Por otra parte, el Li-ion tiene el voltaje más alto de batería, 3.5 V contra 2.0 V para el Pb-ácido y 1.2 V para otros. Esto requiere pocas células de acumulador en serie para un voltaje dado de la batería, así reduciendo el coste de fabricación.

En operación, el Li-ion es vulnerable a daños por sobrecargas u otros defectos en el interior de la batería. Por lo tanto, requiere un trazado del circuito de carga más elaborado con la protección adecuada contra sobredescargas

Litio-polímero: Esta es una batería de litio con un electrolito de polímero sólido. Esta construido con una capa de litio metálico enlazado a una capa delgada del electrolito de polímero sólido. El polímero sólido realiza la energía específica de las baterías actuando como electrolito y separador. Por otra parte, el metal reacciona en el electrolito sólido menos que con un electrolito líquido.

Zinc-aire: Tiene un electrodo de zinc negativo, un electrolito de hidróxido de potasio y un electrodo positivo de carbón, el cual es expuesto al aire. Durante la descarga, el oxígeno del aire es reducido al electrodo de carbón (el llamado cátodo de aire), y el electrodo de zinc es oxidado. Durante la descarga, ésta absorbe oxígeno del aire y convierte al oxígeno en iones oxígeno para transportar al ánodo de zinc. Durante la carga, ésta genera oxígeno. El buen manejo del aire es esencial para el funcionamiento de la batería de zinc-aire.

1.2.2.2 Subsistema de regulación

El subsistema de regulación siempre debe estar integrado en un sistema aislado de generación de energía eléctrica. Cualquier equipo de generación eléctrica que pueda sobrecargar excesivamente las baterías que alimenta, requiere un regulador de carga.

Este componente regula el flujo de electricidad desde el sistema de captación (módulos fotovoltaicos, aerogenerador, etc.) hasta las baterías (suministrándoles la tensión e intensidad adecuadas al estado de carga en que éstas se encuentren). Además, el regulador tiene la misión de mantener la batería plenamente cargada sin que sufra sobrecargas que pudieran deteriorarla.

La misión del regulador se centra, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por un panel y/o por un aerogenerador, puedan causar perjuicio al acumulador, acortando la vida del mismo. Esta función es un requisito mínimo exigible a cualquier regulador, anulando o reduciendo al mínimo la inyección de corriente procedente del campo fotovoltaico o bien, del eólico.

El regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías; disipando la restante en forma de calor a través de una resistencia instalada en el interior del regulador.

Protege a la batería contra la sobredescarga, que tendría lugar si la demanda de consumo eléctrico en la instalación provocase un estado de carga en la batería lo suficientemente bajo que, de mantenerse, resultaría perjudicial para la misma. Asimismo, un buen regulador debe ajustar la tensión a la que debe finalizar la carga de las baterías en función de los valores de la temperatura ambiente, de la velocidad del viento, de la intensidad suministrada por los módulos fotovoltaicos y/o por los aerogeneradores **[1, 64]**

Los reguladores están equipados con un testigo luminoso. El piloto se enciende cuando la batería está cargada y la electricidad está siendo desviada a las resistencias internas. Así mismo, van provistos de un voltímetro y un amperímetro para la lectura de la electricidad producida.

También le facilitan al usuario información básica sobre el funcionamiento de su instalación, monitorizando valores de tensión, intensidad, estado de carga, etc. Gran parte de los reguladores utilizados habitualmente disponen, en mayor o menor medida, de esta función.

Existen dos tipos fundamentales de reguladores, serie y paralelo (shunt), cuyas características principales se describen a continuación:

a. Serie

El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la línea campo de generación-batería, mientras que el control de sobredescarga se efectúa interrumpiendo la línea batería-consumo.

Cuando el interruptor de control es de tipo electrónico (transistor) éste evita que se pueda producir la descarga inversa de la batería hacia el campo de generación eléctrica (paneles FVs, aerogeneradores). Este interruptor no disipa potencia cuando está interrumpiendo la corriente de carga, por lo que este tipo de reguladores es adecuado para instalaciones de cualquier potencia.

Durante el funcionamiento normal del regulador, el interruptor de control genera una pequeña caída de tensión en la línea campo de generación-batería

b. Paralelo

El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo generador. Mientras que el control de sobredescarga se efectúa interrumpiendo la línea batería-consumo, al igual que el regulador tipo serie.

Independiente del tipo de interruptor (electrónico o electromecánico), es necesario un diodo interno que impida que el cortocircuito afecta a la batería, evitando así también la descarga inversa de la batería hacia el campo de generación eléctrica. Este interruptor disipa potencia cuando está cortocircuitando la corriente de carga, por lo que este tipo de regulador se limita a instalaciones de baja potencia.

Al igual que en el regulador tipo serie, durante su funcionamiento, el diodo interno genera una pequeña caída de tensión en la línea campo de generación-batería.

1.2.2.3 Subsistema de acondicionamiento de potencia

La misión de este subsistema consiste en hacer compatibles entre sí las características eléctricas (tensión, intensidad, frecuencia, etc.) de los diferentes subsistemas que componen una instalación aislada, incluidos los receptores. Dos son las principales adaptaciones que pueden ser necesarias: la adaptación de los niveles de tensión continua entre subsistemas, llevada a cabo mediante los convertidores de tensión continua a continua, y la transformación a corriente alterna de la energía eléctrica suministrada por las baterías y/o módulos fotovoltaicos, así como la modificación del valor de la tensión (generalmente es necesario elevar la tensión) llevada a cabo por los inversores u onduladores

El convertidor de tensión continua-continua o seguidor de potencia, se utiliza cuando no todos los receptores de continua tienen la misma tensión nominal.

Los ***inversores***, en cambio son dispositivos que transforman la corriente continua, suministrada por el generador de energía (paneles fotovoltaicos, sistemas eólicos, minihidroeléctricas u otros) o sus componentes de almacenamientos (baterías), en corriente alterna CA, necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos e industriales. Este elemento se denomina también convertidor, su denominación recomendable es ondulator.

Figura 18. Inversor de baja potencia



Los parámetros característicos de un inversor son:

- Tensión nominal: es la que se debe aplicar a los terminales de entrada del inversor. Los inversores disponibles para uso fotovoltaico y/o eólico, se ofrecen con tensiones nominales características de estos sistemas.
- Potencia nominal: es aquella que puede suministrar el inversor de forma continuada. Su rango comercial oscila normalmente entre los 100 y 5000 vatios, aunque existen de potencias superiores
- Capacidad de sobrecarga: se refiere a la capacidad del inversor para suministrar una potencia considerablemente superior a la nominal, así como al tiempo que puede mantener esta situación
- Forma de onda, en los terminales de salida del inversor aparece una señal alterna caracterizada principalmente por su forma de onda y los valores de tensión eficaz y frecuencia de la misma

- Eficiencia o rendimiento, relación expresada en tanto por ciento, entre las potencias presentes a la salida y a la entrada del inversor. Su valor depende de las condiciones de carga del mismo, es decir, de la potencia total de los aparatos de consumo alimentados por el inversor en relación con su potencia nominal

Además de las ya mencionadas, los modernos inversores disponibles para sistemas aislados, disponen de toda serie de características, entre ellas: protección contra sobrecargas, protección contra cortocircuitos, protección térmica, protección contra inversión de polaridad, estabilización de la tensión de salida, arranque automático, señalización de funcionamiento y estado.

- Inversores autónomos: utilizados en los sistemas fotovoltaicos y/o eólicos de baja potencia autónomos o aislados de la red eléctrica externa. Hay algunas variantes de este tipo en el mercado:
- Entrada de batería, es el más común, en el que la entrada del inversor se conecta única y directamente a la batería o acumulador. Este tipo de inversores suele disponer de la función de protección contra la sobredescarga de la batería, ya que esta conexión directa constituye una línea de consumo no controlada por el regulador
- Entradas de batería y generador auxiliar: permite la conexión directa de un grupo electrógeno o un sistema eólico auxiliar, o de la propia red externa, posibilitando la carga de las baterías y la alimentación directa del consumo.
- Salida alterna y continua: hay inversores que disponen de doble salida, continua y alterna, diseñados especialmente para su utilización en sistemas que precisan estos dos tipos de alimentación

Las características de la tensión alterna generada por un inversor (forma de onda, armónicos presentes, frecuencia, tensión, etc.) es uno de los parámetros de calidad más relevantes, se puede determinar el tipo de receptores a los que puede alimentar.

La forma de onda es una representación gráfica de la tensión suministrada por el inversor en función del tiempo, de la que pueden extraerse los valores de la amplitud y la frecuencia de la tensión alterna generada.

Los inversores pueden producir tres tipos de forma de onda distintas: lo ideal es la generación de ondas senoidales puras, similares a las suministradas por las centrales eléctricas. Determinados inversores producen ondas casi-senoidales como aproximación a la onda ideal. El tercer tipo consiste en la onda cuadrada que difieren grandemente de las senoidales puras.

Los inversores de onda cuadrada pueden alimentar receptores productores de calor (resistencias eléctricas, calentadores, secadores, etc.), así como lámparas incandescentes, equipos musicales de calidad media, receptores de TV en blanco y negro y determinados receptores a motor, tales como mezcladores, aspiradoras y máquinas de coser (en general, receptores equipados con motores monofásicos universales)

Los inversores de forma de onda casi-senoidal pueden alimentar la gran mayoría de receptores excepto aquellos más sensibles a la presencia de armónicos, como ordenadores (computadoras) e impresoras láser

Los inversores de forma de onda senoidal generan una tensión idéntica a la que se produce en las centrales eléctricas de las compañías suministradoras de energía eléctrica y son aptos para alimentar cualquier tipo de receptor de corriente alterna, incluidos los más sensibles a la presencia de componentes armónicas.

La mayoría de los inversores aceptan tensiones continuas de entrada de 12, 24, 32 ó 48 V y suministran en la salida tensión alterna de 230 V y 50 Hz (110 V y 60 Hz en Norteamérica, Centroamérica y algunos otros países). Las potencias nominales abarcan desde los 50 W hasta los 5 kW.

Los inversores de menor potencia suelen suministrar tensión alterna monofásica, mientras que los de mayor potencia pueden ser también monofásicos o suministrar directamente tensión trifásica. Igualmente pueden realizar un suministro trifásico a partir de tres inversores monofásicos conectados y sincronizados convenientemente.

Aunque actualmente los inversores han evolucionado de una manera impresionante. La avanzada electrónica de la que se dispone hoy en día permite conseguir una electricidad casi igual a la que hay disponible en la red eléctrica. El inversor depende de la potencia de la instalación, de la calidad de onda senoidal que se precise, si se desea que además de inversor sea cargador, de la frecuencia, de la potencia simultánea máxima, y del voltaje. La elección final depende, como todo, de las necesidades y accesibilidad

1.2.2.4 Subsistema de control, medida y protección

El funcionamiento de una instalación eléctrica, con energías renovables, de una manera fiable y segura, precisa de dispositivos que realicen al menos, las siguientes funciones:

- Control: las funciones que deben realizar los dispositivos de control dependen de la complejidad y requerimientos de la instalación fotovoltaica y/o eólica, posición de seguridad de los módulos y/o del aerogenerador, en caso de condiciones ambientales extremas, supervisión de los parámetros característicos de la instalación (temperaturas, intensidades, tensiones, demanda y suministro de potencia, etc.).

La supervisión y control de estas funciones se realiza mediante un sistema electrónico de control, que puede ser un ordenador con un software específico, un autómata programable o un controlador diseñado específicamente para tal fin. A estas funciones deben añadirse las funciones de supervisión y control realizadas por el regulador y el inversor en sus propios subsistemas

- Medida: la medida de la energía eléctrica producida y consumida por el sistema, se hace imprescindible en el caso de instalaciones conectadas a la red, y en el caso de instalaciones autónomas. Para ello, se utilizan contadores de energía eléctrica (energía activa, es decir, kWh), bien sean del tipo tradicional, electromecánicos, o del tipo electrónico

- Protección: las instalaciones fotovoltaicas, eólicas e híbridas, deben incorporar dispositivos y sistemas de protección para que su funcionamiento se realice con un alto nivel de seguridad, tanto para las personas como para los bienes. La mayoría de protección afecta al sistema eléctrico, aunque, también pueden incorporarse protecciones que afecten a otros sistemas, como, por ejemplo, sistemas para disminuir el riesgo de explosión en el subsistema de acumulación

Entre las protecciones que afectan al sistema eléctrico cabe mencionar: Protección contra sobrecargas y cortocircuito, protección contra contactos directos e indirectos, protección contra sobre tensiones.

En algún subsistema de la instalación, varias de estas protecciones pueden estar agrupadas e integradas en un único dispositivo, como puede ser en el regulador.

1.3 Ejemplos de aplicaciones de instalaciones eólicas y fotovoltaicas

La tecnología tanto fotovoltaica como eólica en los últimos años ha avanzado lo suficiente, para que su comercialización sea factible. Es por ello que las instalaciones fotovoltaicas, eólicas e híbridas (eólico-fotovoltaicas) se han puesto en marcha tanto en países en desarrollo como en países desarrollados.

Algunas de estas aplicaciones, en regiones alejadas y/o rurales, se describen a continuación, debido a su creciente uso en el mundo:

Energía limpia para Baja California Sur: única opción ecológica

Entrevista Mto. Jesús Druk González, secretario de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Baja California Sur. Boletín jul-ago 2000

Efectivamente, dentro del Plan Estatal de Desarrollo, se consideraron como alternativas de solución, la aplicación de nuevas técnicas que se han venido desarrollando para el uso de energías no convencionales tales como la energía eólica, energía solar, energía de mareas y oleajes. La Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado firmó un convenio de colaboración con el Instituto de Investigaciones Eléctricas y, conjuntamente, han llevado a cabo mediciones de los vientos existentes en diferentes comunidades de las zonas Pacífico Norte y Laguna de San Ignacio. Otras acciones que se han realizado son la construcción de dos plantas híbridas basadas en la captación de energía solar y eólica en San Juanico y en Puerto Alcatraz, así como en la Isla Margarita, del municipio de Comondú.

También se planearon acciones que llevarían a la instalación de más sistemas híbridos en algunas comunidades del Pacífico Norte. Como prioritarias están la de Isla Natividad y Punta Eugenia, en esta última ya se tenía un estudio preliminar del potencial eólico; y en la Isla Natividad estaban determinados los sitios donde, ese año, se instalaron anemómetros para determinar el potencial eólico.

En Baja California Sur sí existe potencial eólico y solar, mediante el cual se puede generar energía eléctrica. En varias comunidades de las zonas Pacífico Norte y Laguna de San Ignacio, existen estudios sobre el potencial eólico de esas regiones.

Como resultado de estos estudios está la planta híbrida instalada en San Juanico. Existe también un estudio preliminar de los resultados del potencial eólico de Punta Eugenia. Desde 1999, el Gobierno del Estado ha buscado recursos para continuar con la reubicación e instalación de sistemas anemométricos y, con ello, determinar qué comunidades son viables para la instalación de plantas híbridas; sin embargo, por problemas presupuestales no se ha podido obtener recursos para la continuación del Programa de Energías Alternas. [20]

Chile, 2002. Primera Región del Norte, Provincias de Arica y Parinacota

Aparte del alto potencial de la radiación solar existente en la región, la utilización de energía eólica significa también una opción interesante para aplicaciones en proyectos de electrificación. La primera aplicación de sistemas híbridos, solar-eólico, se realizó en el año 1996 para la electrificación de la escuela de Colpitas, a una altura de 4500 m.s.n.m. en la comuna altiplánica de General Lagos. El sistema fue compuesto de un generador fotovoltaico con una potencia máxima de 212 W_p y un generador eólico de 300 W_{nom} , modelo D303, marca Harbarth. Después de un año de operación, el generador eólico falló (fractura de 2 de las 3 aspas) y actualmente, este sistema continúa su operación a través del sistema fotovoltaico.

No obstante del fallo del equipo eólico, se pudo obtener las primeras experiencias en el diseño y la operación de sistemas híbridos y los sistemas de control. El segundo sistema híbrido fue instalado en el inicio del año 2002 (05.04.2002), a través de un proyecto financiado por la Embajada de Alemania en la posada de Copaquilla, a una altura de 3100 m.s.n.m.

Este sistema suministra electricidad para la iluminación, radio y televisión, electrodomésticos del restaurante y pequeños herramientas eléctricas y está compuesto de los siguientes equipos:

- Generador fotovoltaico: 5 paneles SM55, 220 W_p
- Generador eólico: AIR 403, 400 W_{nom.}
- Regulador solar y eólico: Atonic, 12 V y Control C40
- Banco de baterías: Sonnenschein dry fit, 400 Ah
- Inversor: ASP 1000W

El monitoreo instalado permite a través de un registro automático, que mide en forma continua los datos meteorológicos y los principales parámetros eléctricos, la evaluación del comportamiento del sistema a largo plazo. Además, se instaló un simple medidor de kWh a la salida del inversor, que permite registrar el consumo de energía eléctrica por parte de los usuarios y asegurar de esta forma un uso adecuado del sistema. [25]

Cuba estrena su primer sistema híbrido de electrificación

22 de abril de 2003. Lilliam RIERA. Granma Internacional

La estación cubana de retransmisión de señales de radio y televisión hacia el Caribe, ubicada en la montaña La Cana, en la oriental provincia de Guantánamo, quedó electrificada en el mes de abril del año 2003 con el primer sistema híbrido multifuentes de la Isla.

José Carlos Díaz Vidal, especialista de ECOSOL Solar, señaló a Granma Internacional que la estación, perteneciente a RADIOCUBA, "recibiría 30 kiloWatts (kW) suministrados por minihidroeléctricas, 16 kW a través de fuentes fotovoltaicas, 6 Kw mediante energía eólica y 10 kW por diesel". Comentó que también quedaría terminada en abril la electrificación de dos comunidades rurales en las zonas montañosas guantanameras del municipio San Antonio del Sur: "Viento Frío Arriba, con paneles solares, y Viento Frío Abajo, con un sistema centralizado e híbrido que emplearía energía eólica y fotovoltaica".

Con sistemas híbridos (eólico-fotovoltaicos) se han electrificado ya en el país, tres centros de acopio de langostas, dos estaciones forestales, un puesto de guarda fronteras, tres escuelas primarias rurales y cuatro instalaciones de flora y fauna en los cayos al Norte de Camagüey", indicó al Semanario Raúl Novo, otro especialista de la entidad, sumándose a estas instalaciones la estación de retransmisión mencionada.

Novo destacó, además, "las más de 7000 instalaciones fotovoltaicas existentes en la Isla". Informó que actualmente hay "2.364 escuelas primarias rurales electrificadas con paneles (que poseen televisor, vídeo, computadora y luminarias), 1 864 salas de vídeo, más de 350 consultorios del Médico de la Familia y otros objetivos socioeconómicos". **[26]**

ECOSOL Solar ha instalado también más de 300 colectores solares (calentadores de agua) en hoteles, hospitales, círculos infantiles y asilos de ancianos.

Diseño de un sistema híbrido solar-eólico

Universidad Nacional del Nordeste

Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003

Noemí Sogari

Instalación de un sistema que aproveche las energías renovables a fin de brindar a una pequeña comunidad salteña iluminación y comunicación. La comunidad está ubicada en Vaqueros, localidad que se encuentra al norte de la ciudad de Salta, a unos 10 km del casco céntrico de la misma, en el noreste de Argentina.

Las viviendas son casas tipos, cada una compuesta por: dormitorios de $3 \times 4 \text{ m}^2$ cada uno; una cocina-comedor de $3 \times 3 \text{ m}^2$; un baño de $2 \times 2 \text{ m}^2$; una galería y un patio.

El consumo de energía se hizo para el período invernal, puesto que durante el mismo el requerimiento es mayor que en épocas estivales; lo cual significó que el sistema propuesto, proveyó de energía suficiente durante todo el año.

Todas las habitaciones contaban con lámparas fluorescentes de bajo consumo de 15 Watt cada una, alimentadas con tensión alterna de 220 V a través de un inversor conectado a un banco de baterías centralizado, alimentado por dos sistemas alternados: Paneles fotovoltaicos y aerogeneradores. Cabe aclarar que la distribución de energía domiciliaria, se hizo en corriente continua (esto fue factible porque las distancias entre el centro de distribución y los domicilios son relativamente cortas), y en cada una de las casas se instalo un inversor. **[31]**

Sistemas de energía eólica y solar en España

Jueves 17 de Mayo de 2007

España cuenta con numerosos lugares idóneos para la utilización de estos sistemas mixtos. El clima de estas zonas propicia una obtención más eficiente de energía de esta manera que con sistemas eólicos o solares puros.

Algunos lugares ya cuentan con este tipo de sistemas híbridos. Un ejemplo es una vivienda rural ubicada en el Valle de Baztán (Navarra). El sistema fue promovido el año pasado por el Ayuntamiento de este valle navarro, que adjudicó las obras, por valor de unos 90,000 euros, a la empresa Acciona Solar. El caserío carecía de energía eléctrica al estar aislado de la red, por lo que el sistema mixto, integrado por paneles fotovoltaicos y un pequeño aerogenerador, y apoyado en un grupo electrógeno diesel, atiende las necesidades eléctricas de sus inquilinos y de su explotación ganadera.

Instalaciones fotovoltaicas en áreas rurales de la Comunidad Autónoma del País Vasco hay muchos. Entre otros, cabe destacar, una docena de caseríos de Oñati (5 kilowatios), bordas de pastores en Gorbeia (1 kW), en Sierra Salvada (6 kW), en la Sierra de Aralar, bombeo de abastecimiento de agua para el ganado en Vitigarra (Álava), con una profundidad de 170 metros y un caudal de 10,000 litros al día en verano.

En el caso de Oñati, desde el año 1998 un total de doce caseríos, aislados del núcleo urbano de esta localidad guipuzcoana, disponen de electricidad transformando la energía del sol y la de un sencillo salto de agua.

La inversión de este proyecto superó los 20 millones de pesetas y fue financiado por la Diputación Foral de Gipuzkoa en un 35%, por el Ente Vasco de la Energía en un 30% y en un 15% por el Ayuntamiento de Oñati, costeándose el resto de la inversión por los propietarios de los caseríos.

Los caseríos son utilizados como segunda vivienda, en algunos casos, y en otros como pequeñas explotaciones de ganadería de montaña. En once de estos caseríos la generación de electricidad es mediante paneles solares fotovoltaicos, mientras que, en uno de ellos se ha rehabilitado un pequeño salto de agua.

Este proyecto se enmarca dentro de la Estrategia Energética de Euskadi 3E 2005, elaborada por el Gobierno Vasco, que prevé como objetivos para el año 2005 importantes niveles de penetración de la energía solar, con instalaciones adicionales de 20.000 Wp de paneles fotovoltaicos, alcanzando un ahorro anual equivalente a 18 toneladas equivalentes de petróleo (tep). En total el plan contempla un aumento del 116% respecto al ratio actual, siendo la inversión total prevista de 450 millones de pesetas en el conjunto de la energía solar (térmica y fotovoltaica).

2. FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA RENOVABLE, AISLADO A LA RED

2.1 Descripción de la problemática energética para usuarios aislados

Latinoamérica es una de las regiones del planeta que cuenta con más recursos naturales, que de ser explotados racionalmente, pueden ser útiles para desarrollar las tecnologías actuales de energías renovables

En la actualidad muchos países latinoamericanos ya están trabajando con energías renovables para satisfacer la demanda de energía eléctrica, especialmente en zonas donde los recursos naturales, para la generación, son favorables y abundantes.

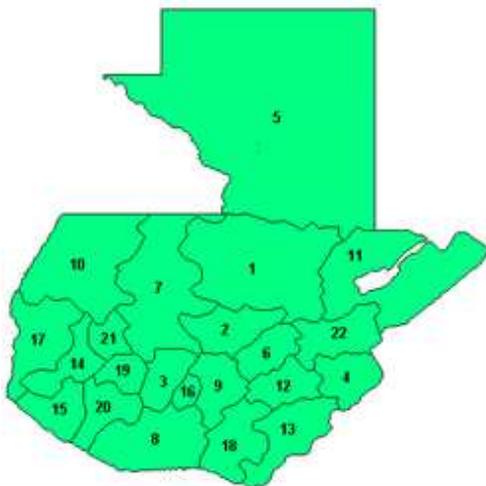
Las comunidades alejadas o rurales, son las que más han experimentado las ventajas de las energías renovables; pues gran parte de las implantaciones de sistemas de generación eléctrica se han desarrollado en estas comunidades. Esto no solamente en Latinoamérica, sino en los países desarrollados.

Aunque todos los países latinoamericanos cuentan con empresas generadoras de energía eléctrica; la distribución y transporte de ésta, a regiones alejadas tiene un costo elevado, debido al difícil acceso. Por ello es que la generación eléctrica a partir de energías renovables es una buena opción para suministrar electricidad a estas regiones, ya que muchas de estas energías pueden utilizarse en el mismo lugar donde se generan.

Guatemala es un país en desarrollo; dispone de abundantes recursos naturales para la generación eléctrica con energías renovables, organizado en 8 Regiones, 22 departamentos y 331 municipios:

Región I o Metropolitana: Guatemala; *Región II o Norte:* Alta Verapaz y Baja Verapaz; *Región III o Nororiental:* Chiquimula, El Progreso, Izabal y Zacapa; *Región IV o Suroriental:* Jalapa, Jutiapa y Santa Rosa; *Región V o Central:* Chimaltenango, Escuintla y Sacatepéquez; *Región VI o Suroccidental:* Retalhuleu, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán y Quetzaltenango; *Región VII o Noroccidental:* Huehuetenango y Quiché; y *Región VIII o Petén:* Petén

Figura 19. Mapa de la República de Guatemala



Departamentos de Guatemala:

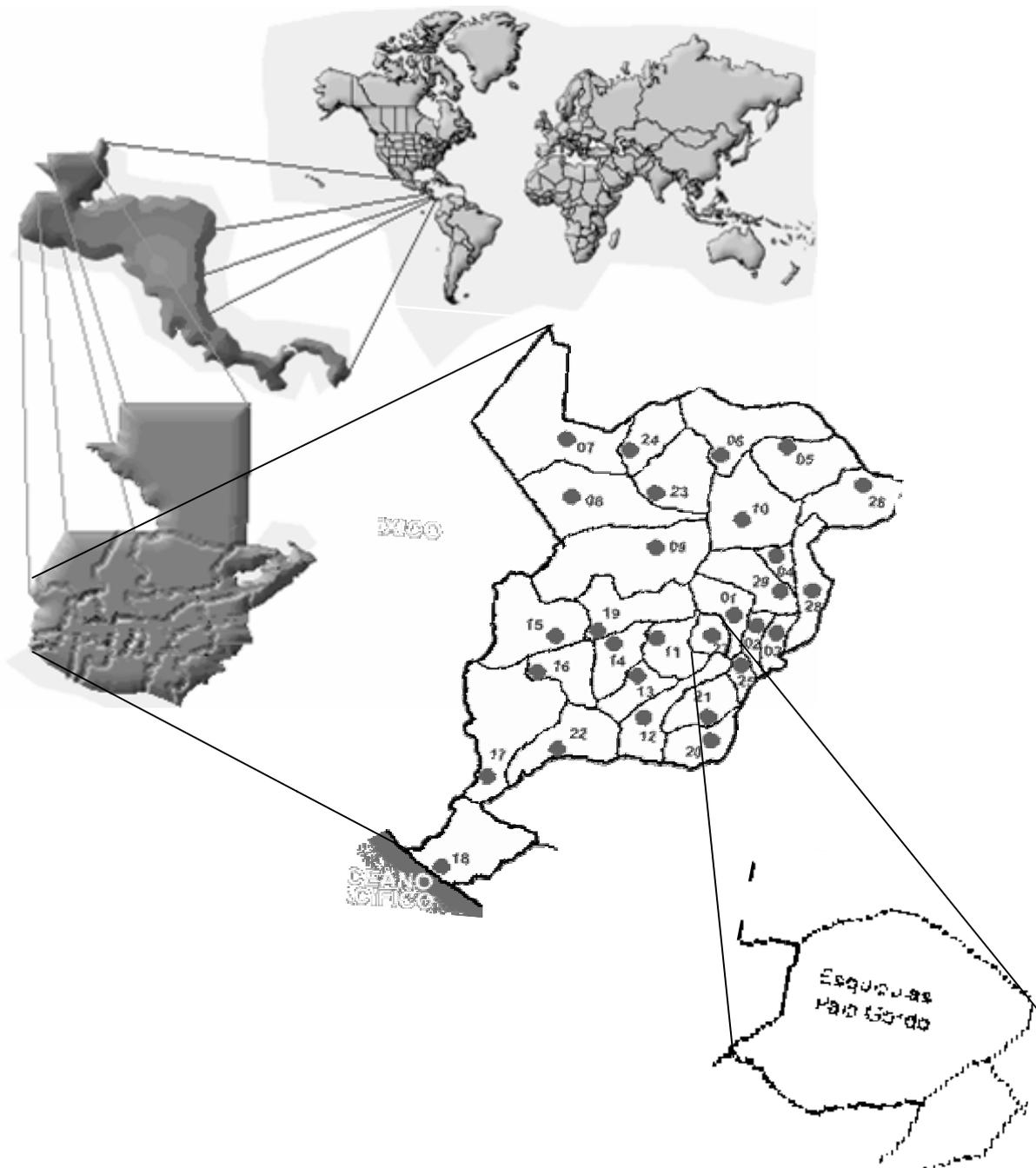
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Alta Verapaz | 12. Jalapa |
| 2. Baja Verapaz | 13. Jutiapa |
| 3. Chimaltenango | 14. Quetzaltenango |
| 4. Chiquimula | 15. Retalhuleu |
| 5. Petén | 16. Sacatepéquez |
| 6. El Progreso | 17. San Marcos |
| 7. Quiché | 18. Santa Rosa |
| 8. Escuintla | 19. Sololá |
| 9. Guatemala | 20. Suchitepéquez |
| 10. Huehuetenango | 21. Totonicapán |
| 11. Izabal | 22. Zacapa |

Las comunidades rurales y alejadas del interior del país, que no disponen de energía eléctrica, serían favorecidas con la implantación de sistemas de generación eléctrica con energías renovables.

Por ello se desarrolla un proyecto de un sistema aislado de generación eléctrica, utilizando energías renovables, en el departamento de San Marcos.

Este departamento está ubicado en la región VI o región Sur Occidental de Guatemala, siendo su cabecera departamental San Marcos, que se encuentra a 2397 metros sobre el nivel del mar, y a 249 km de la ciudad capital; con una extensión territorial de 3791 km² aproximadamente, latitud 14°57' 40" y longitud 91° 47' 44". Sus límites departamentales son: al Norte con Huehuetenango, al Sur con el Océano Pacífico y Retalhuleu, al Este con Quetzaltenango; y al Oeste con la República de México. Su distribución administrativa de 29 municipios y una población de aproximadamente 710.000 habitantes, lo hace uno de los departamentos más poblados.

Figura 20. Mapa del municipio de Esquipulas Palo Gordo, San Marcos en el globo terrestre



Municipios del departamento de San Marcos

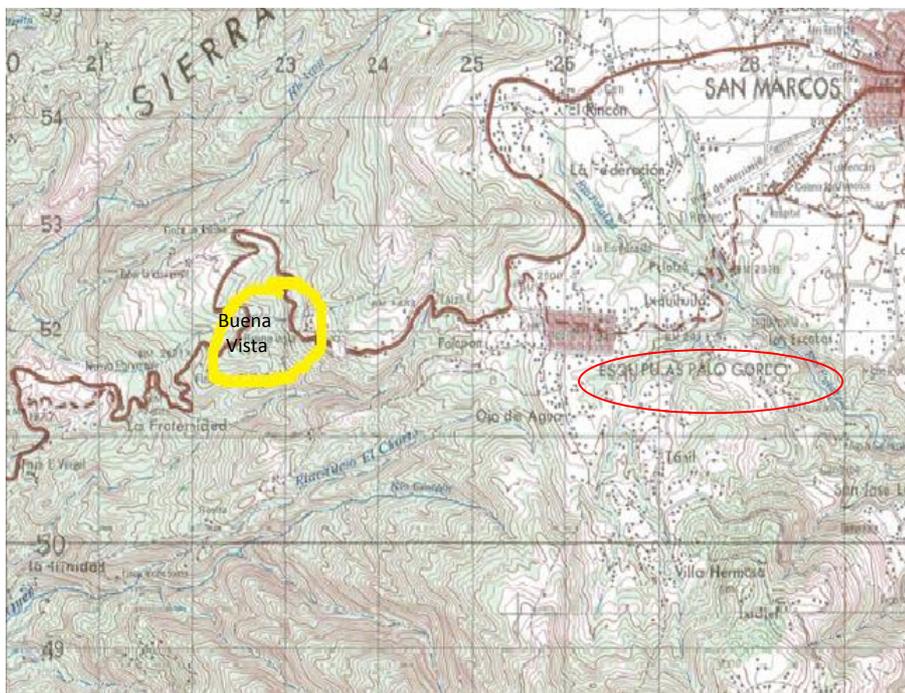
1. San Marcos	11. San Rafael Pie de la Cuesta	21. La Reforma
2. San Pedro Sacatepéquez	12. Nuevo Progreso	22. Pajapita
3. San Antonio Sacatepéquez	13. El Tumbador	23. Ixchiguan
4. Comitancillo	14. El Rodeo	24. San José Ojetenam
5. San Miguel Ixtahuacán	15. Malacatán	25. San Cristobal Cucho
6. Concepción Tutuapa	16. Catarina	26. Sipacapa
7. Tacaná	17. Ayutla	27. Esquipulas Palo Gordo
8. Sibinal	18. Ocos	28. Rio Blanco
9. Tajumulco	19. San Pablo	29. San Lorenzo
10. Tejuela	20. El Quetzal	

Los 331 municipios de Guatemala disponen de energía eléctrica, pero algunas comunidades rurales no cuentan con este servicio; como es el caso de una aldea del municipio de Esquipulas Palo Gordo.

Este municipio es uno de los más próximos a la cabecera departamental, aproximadamente a 9 km. Se ubica en la latitud 14°55'6ON (14.92°) y longitud 91°49'OW (91.82°); su altitud sobre el nivel del mar es de 2.501 metros. Sus límites son: al Norte con el municipio de San Marcos, al Sur con los municipios de El Tumbador y San Pedro Sacatepéquez, al Este con el municipio de San Marcos y al Oeste con los municipios de El Tumbador y San Rafael Pie de la Cuesta; con una extensión territorial de 21 km². Su población es de 8.613 habitantes aproximadamente (Fuente: SIM), se considera un municipio de tercera categoría.

El desarrollo de este proyecto comprende la planificación y el diseño de una instalación de generación eléctrica con energías renovables para suministrar electricidad al caserío Buena Vista que pertenece a la aldea La Fraternidad del municipio Esquipulas Palo Gordo.

Figura 21. Fragmento de un mapa topográfico del departamento de San Marcos, municipio de Esquipulas Palo Gordo, comunidad Buena Vista



Fuente: colaboración de la Dirección del Ministerio de Energía y Minas, Guatemala

Buena Vista no dispone de este servicio, debido a que la distribución y transporte de energía eléctrica, por parte de la empresa generadora de electricidad, tiene un costo elevado; además las autoridades municipales no han impulsado proyectos para el suministro de energía eléctrica en esta comunidad.

Buena Vista se encuentra a 6 km de la cabecera municipal de Esquipulas Palo Gordo y a 12 km de la cabecera departamental de San Marcos. La carretera que comunica la cabecera municipal con la cabecera departamental, es asfaltada. Además por su topografía, esta comunidad es considerada un mirador natural de la zona costera del departamento.

Figura 22. Fotografía con habitantes de la Comunidad Buena Vista



Fuente: Trabajo de campo

El suelo del municipio está formado en su mayoría de: 75% de tierra negra cultivable, 20% de suelo arcilloso y 5% de suelo arenoso; por lo que es bastante fértil.

2.1.1 Población

Buena Vista tiene una población de 207 habitantes; aproximadamente 34 hombres y 36 mujeres, en edad adulta; el resto de la población la conforman niños y jóvenes.

La población en general la componen familias de 5 a 8 integrantes aproximadamente.

2.1.2 Infraestructura

Dispone de una escuela que cuenta con dos salones, dos servicios sanitarios y una cocina; y el edificio de la municipalidad auxiliar, que solamente posee un salón y un servicio sanitario.

La comunidad tiene agua entubada no clorada, no existe instalación de drenaje o alcantarillado; pero cada vivienda cuenta con letrina.

Las viviendas están localizadas en forma dispersa, alejadas entre sí, debido a que esta comunidad se encuentra en una región montañosa, lo que la hace quebrada. Están fabricadas con materiales como block, ladrillo, madera, adobe, laminas de zinc o tejado de arcilla

Figura 23. Fotografías de la comunidad Buena Vista: Escuela de INTERVIDA (izquierda) y sector de viviendas (derecha)



Fuente: trabajo de campo

2.1.3 Clima y temperatura

Es importante mencionar que a nivel nacional, en Guatemala, solo se marcan dos estaciones: seca (noviembre-abril) y húmeda o lluviosa (mayo-octubre).

Las temperaturas durante los meses de diciembre y enero son bastante bajas, en especial en las regiones que comprenden el sur-occidente y occidente del país (San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Quiché). No así en los meses de marzo y abril que se registran las temperaturas más elevadas.

Durante la época húmeda, las lluvias son abundantes, especialmente en los meses de septiembre y octubre, donde se registran la mayoría de tormentas tropicales y/o huracanes, la precipitación anual promedio puede ir desde 2500 a 4000 mm en este municipio, aunque en todo el departamento puede haber precipitaciones desde 1500 hasta 4500 mm, según los registros del INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología)

La temperatura promedio anual en todo el departamento está entre 8°C y 28°C; pero específicamente en el municipio de Esquipulas Palo Gordo es de 13°C a 18°C (registros del INSIVUMEH), aunque puede registrarse temperaturas de 5°C o menores, en los meses de diciembre y enero.

2.1.4 Profesiones u oficios

Agricultores: aproximadamente el 80% de la población activa se dedica a la agricultura, cultivando granos y verduras que produce la tierra de acuerdo al clima, humedad, época y topografía del terreno.

Artesanos: algunas personas se dedican a la fabricación de canastas.

Profesionales: se cuenta con un número reducido de profesionales siendo ellos en su mayoría maestros de educación pre-primaria, maestros de educación primaria, peritos contadores y técnicos en salud.

Albañiles: un buen número de personas se dedican a la albañilería trabajando en proyectos de salud, compañías particulares y otros en casas particulares.

La mayoría de hombres mayores de 14 años se dedican a la agricultura y las mujeres a oficios domésticos. Su fuente de trabajo es principalmente la agricultura y la crianza de animales: aves, ovejas, cabras.

2.1.5 Educación

INTERVIDA como organización no gubernamental desarrolló un proyecto de educación, construyendo la escuela que se encuentra en esta comunidad, y brindándoles a los alumnos útiles escolares, refacciones y atención médica

Se imparten clases desde primero primaria hasta sexto primaria, aunque sólo un maestro está contratado por el Ministerio de Educación. En este año 2007 se inscribieron 19 alumnos.

Figura 24. Fotografía de la escuela construida por INTERVIDA y algunos habitantes de la comunidad Buena Vista



Fuente: Trabajo de campo

2.1.6 Organización

Buena Vista está organizada por un alcalde auxiliar y un Comité Comunal de Desarrollo COCODE, este comité está integrado por: Emiliano Escobar, presidente; Federico López Roblero, secretario; Juan Vitalino López, tesorero; David Escobar, vocal 1ero. y Manuela de León, vocal 2do.

Además cuenta con personal de apoyo como los son: dos comadronas educadas para los servicios de salud requeridos y dos promotores en salud rural.

2.2 Situación actual del uso de energías renovables en Guatemala

El Congreso de Guatemala emitió la *Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable (Decreto 52-2003)* el 4 de noviembre del año 2003, publicado en el *Diario de Centroamérica* el 10 de noviembre del mismo año, en esta ley se declara de urgencia nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables, indicando que el Ministerio de Energía y Minas estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con este fin, a través de incentivos fiscales, económicos y administrativos.

Las entidades que realizan proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozan de los siguientes incentivos:

- Exención de derechos arancelarios para las importaciones
- Exención del pago del impuesto sobre la renta
- Exención del impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias IETAP

Esta Ley vino a llenar el vacío que anteriormente esta atendido por el Decreto ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables, el cual fue derogado por la Ley General de Electricidad. Tiene una importante implicación en la electrificación rural, especialmente en aquellos sitios remotos que no tienen expectativa de ser atendidos mediante la extensión de la red nacional.

Se espera que a través de los incentivos se genere interés en el desarrollo de proyectos relacionados con energía renovable, que vendría a estabilizar el precio de la energía eléctrica.

Aunque en Guatemala la generación de energía eléctrica se debe a fuentes de energía renovable y no renovable, como a continuación se describe: Bagazo de caña de azúcar 8.22%; diesel Oil 0.25%; carbón mineral 13.40%; hidroenergía 36.88%; fuel oil 26.33%; orimulsión 12.82%; geoenergía 2.09%. En forma global:

39.4% Petróleo

13.40% Carbón mineral

47.19% Recursos renovables (hidroeléctricas, geotérmicas y biomasa)

En la planificación y construcción de sistemas de generación eléctrica aislados, a partir de energías renovables, se debe tomar en cuenta una serie de situaciones y particularidades del emplazamiento, para que el dimensionamiento y el funcionamiento del sistema sean adecuados a las necesidades de los consumidores, al igual que la eficiencia y la vida útil del sistema sean las máximas.

El desarrollo de proyectos de generación eléctrica, en las comunidades rurales, exige que los habitantes estén informados sobre las implicaciones que conlleva ejecutarlos. Además se deben considerar los recursos con los que cuentan las comunidades para colaborar en la construcción y puesta en marcha de la instalación eléctrica, los cuales pueden ser de carácter humano (mano de obra) y/o de carácter económico.

La disponibilidad y voluntad de la población, a colaborar en la ejecución de un proyecto de esta naturaleza, son factores importantes que deben ser analizados desde la planificación del proyecto; de no ser así pueden presentarse inconvenientes: falta de colaboración económica y/o humana, reclamos por demanda de energía no cubierta, etc.

En cuanto a la comunidad Buena Vista, se obtuvo información, con la colaboración de los habitantes, autoridades de la municipalidad Esquipulas Palo Gordo y otras dependencias, bases de datos de Instituciones Nacionales como: Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, INSIVUMEH, etc.

Esta comunidad ha solicitado varias veces el suministro de energía eléctrica, sin embargo su solicitud ha sido denegada, justificando que los costos de distribución y transporte son altos; porque en las proximidades de esta comunidad únicamente pasa las líneas de alta tensión.

Aunque se han desarrollado proyectos de distribución eléctrica en ciertas áreas rurales, muchas de las comunidades que han solicitado este servicio, no lo han recibido, ya que las distintas empresas distribuidoras de energía eléctrica en Guatemala (DEOCSA, DEORSA, EEGSA y algunas empresas de energía eléctrica municipales), disponen de recursos económicos limitados, impidiendo cubrir la totalidad de las solicitudes.

Pero la empresa designada en el Gobierno Central para cumplir con la electrificación rural es el INDE, quien ha estado ejecutando varios proyectos en la medida de la limitación de sus recursos financiero.

Figura 25. Fotografía de un sector de viviendas de la comunidad Buena Vista y algunos pobladores



*Carretera Interamericana
Guatemala-México*

Fuente: Trabajo de campo

La colaboración de la comunidad Buena Vista se ha manifestado, en que una vecina de esta comunidad ha donado un lote de terreno a la Diócesis de San Marcos para la construcción de la iglesia. Esta actitud brinda una buena perspectiva para la ejecución del proyecto; por la disponibilidad de la población a colaborar en proyectos de beneficio común y no rechazarlos.

La población en general se ha mostrado motivada; ya que al informarles y comunicarles sobre la realización del presente proyecto, su reacción fue bastante optimista.

El proyecto es eminentemente participativo, por esta razón es importante que los habitantes de la comunidad beneficiada estén dispuestos a colaborar con mano de obra, para lograr los objetivos del proyecto y reducir costos (costo total).

Se hará uso de los diferentes materiales locales de la comunidad, para la construcción del sistema, reduciendo de esta forma los costos.

También hay que tomar en cuenta, la distribución de las viviendas dentro de la comunidad, para que tanto el almacenaje como la distribución de electricidad a las viviendas sean adecuados y óptimos.

Un sistema individual tipo se refiere a la generación eléctrica para una vivienda, cuando las viviendas a electrificar se encuentran alejadas entre sí. Generalmente, cuenta con una fuente de generación de energía (paneles fotovoltaicos, miniturbina eólica, miniturbina hidráulica); baterías o acumuladores para almacenar la energía generada, un regulador de carga y/o descarga de las baterías. Dependiendo de la aplicación, puede incluir un inversor para transformar la electricidad de corriente directa a corriente alterna a 110 ó 220 Voltios.

En cambio un sistema centralizado se estima que es mejor, si las viviendas a electrificar se encuentran relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema centralizado debido a la concentración de equipos y energía, lo cual ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico. La energía eléctrica producida, almacenada y transformada en un "sistema central" luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas y otros sitios. En el capítulo uno se ha descrito con más amplitud estos sistemas.

Hay que tomar en consideración que vivir con una instalación de energías renovables supone un cierto cambio de hábitos y una adaptación de los elementos de consumo de nuestra vivienda.

Durante días de viento o soleados se puede usar la electricidad con más despreocupación, pero cuando no haya suficiente viento o radiación solar para cargar las baterías se deberá ser más cuidadoso con los consumos, según sea el caso del tipo de sistema, fotovoltaico o eólico.

2.2.1 Disponibilidad de los recursos naturales (radiación solar y velocidad del viento) en el emplazamiento de la instalación

La cantidad de energía eléctrica que se produce durante un tiempo de referencia (día, mes, año) en un panel solar fotovoltaico, depende de tres factores: características climatológicas reales durante un tiempo considerado, la eficiencia de los módulos fotovoltaicos utilizados y, la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos, que depende, de la orientación e inclinación de los módulos respecto al sol.

Con respecto a la radiación solar, se utilizan dos términos, irradiación e irradiancia, cuyas definiciones son ligeramente diferentes. El término irradiación se refiere a la cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo, mientras que el término irradiancia se refiere a la potencia instantánea recibida. En términos de unidades la irradiancia se mide en W/m^2 mientras que la irradiación en Wh/m^2 .

La irradiancia proveniente del Sol que se recibe sobre una superficie perpendicular al sol en el exterior de la atmósfera, puede considerarse como constante e igual a $1.367 W/m^2$; presentando algunas variaciones temporales bien definidas en unos casos (variación día/noche, verano/invierno) y estocásticas en otros (presencia de nubes)

El ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el módulo así como la forma de incidencia también son factores muy importantes para el aprovechamiento de la luz solar.

Si el sol está oculto tras las nubes, o si parte del módulo solar está en la sombra o sucio, la energía generada será menor. Por ello es importante garantizar la correcta orientación del módulo y asegurarse de la ausencia de sombras. También es importante que el ángulo de montaje del módulo sea lo suficientemente amplio como para favorecer un adecuado lavado por la lluvia.

Para una instalación ubicada en el hemisferio norte, la orientación ideal es hacia el Sur geográfico. Si los paneles fotovoltaicos se instalan con un ángulo suficiente respecto del plano horizontal, a fin de responder a las necesidades del mes peor, la propia lluvia los mantendrá limpios (efecto autolimpiante de los módulos). Si hay árboles en las inmediaciones y las hojas se acumulan sobre los módulos, habrá que quitarlas lo antes posible. Aun, sólo queden tapadas unas pocas células del módulo, pueden provocar importantes mermas en el rendimiento del sistema

Figura 26. Fotografía del entorno de la comunidad Buena Vista



Fuente: Trabajo de campo

En un aerogenerador o turbina eólica, la velocidad del viento es el parámetro más significativo; ya que la energía que se capta del viento es proporcional a cubo de su velocidad, lo que significa que cuando la velocidad del viento se duplica, la potencia que se puede producir con un aerogenerador es hasta ocho veces superior.

La velocidad del viento depende en gran medida del terreno sobre el que se mueve el aire. La vegetación, tipo de terreno, construcciones cercanas, etc., frenan el viento y producen turbulencias. El lugar idóneo para un aerogenerador es una zona libre de obstáculos y lo más alto posible respecto de los obstáculos.

Un mismo aerogenerador será más rentable en un lugar donde sople con frecuencia y poca intensidad que en un lugar donde sople con poca frecuencia y mucha intensidad.

Otros factores a considerar a la hora de realizar la instalación del un aerogenerador, son: el ruido producido, vibraciones, impacto visual, distancia al lugar del almacenaje y consumo de la electricidad.

Las velocidades son muy variables según las zonas, la época del año y el soleamiento. La masa edificatoria de cada población condiciona notablemente las características del viento, siendo prácticamente imposible hacer generalización del comportamiento en cada territorio.

La vegetación existente en una determinada zona o emplazamiento puede en ocasiones ofrecer un buen criterio de la existencia de viento útil, por cuanto el tamaño y configuración de los árboles, el tipo de árbol o de vegetación, la inclinación de éstos, la posición de la copa y otras muestras, pueden ofrecer una visión del efecto que ha tenido el viento sobre ellos.

Figura 27. Fotografía de una vivienda un tanto aislada en la comunidad Buena Vista



Fuente: Trabajo de campo

Guatemala se encuentra afectada por el patrón de los vientos alisios. Estos vientos se desplazan con una componente del Norte (puede ser NNE, NE, NNO) durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; debido a un sistema de alta presión que se ubica por esa época en la parte central de los Estados Unidos Norteamericanos, y la prolongación de este sistema de presión a través del Golfo de México y la Península de Yucatán (en la República Mexicana), el viento penetra al territorio del Golfo de México por el departamento de Izabal y se encañona entre las Sierras del Merendón y Las Minas.

Estos hacen que los vientos se aceleren y registren velocidades un poco más altas en el oriente del país. Estos vientos pasan a la zona central y se dirigen a la parte noroeste del país disminuyendo considerablemente su velocidad, el área cubierta por estos vientos estaría comprendida entre la Sierra de los Cuchumatanes y el Pie del Monte de la Costa Sur.

Figura 28. Fotografía de la comunidad Buena Vista



Fuente: Trabajo de campo

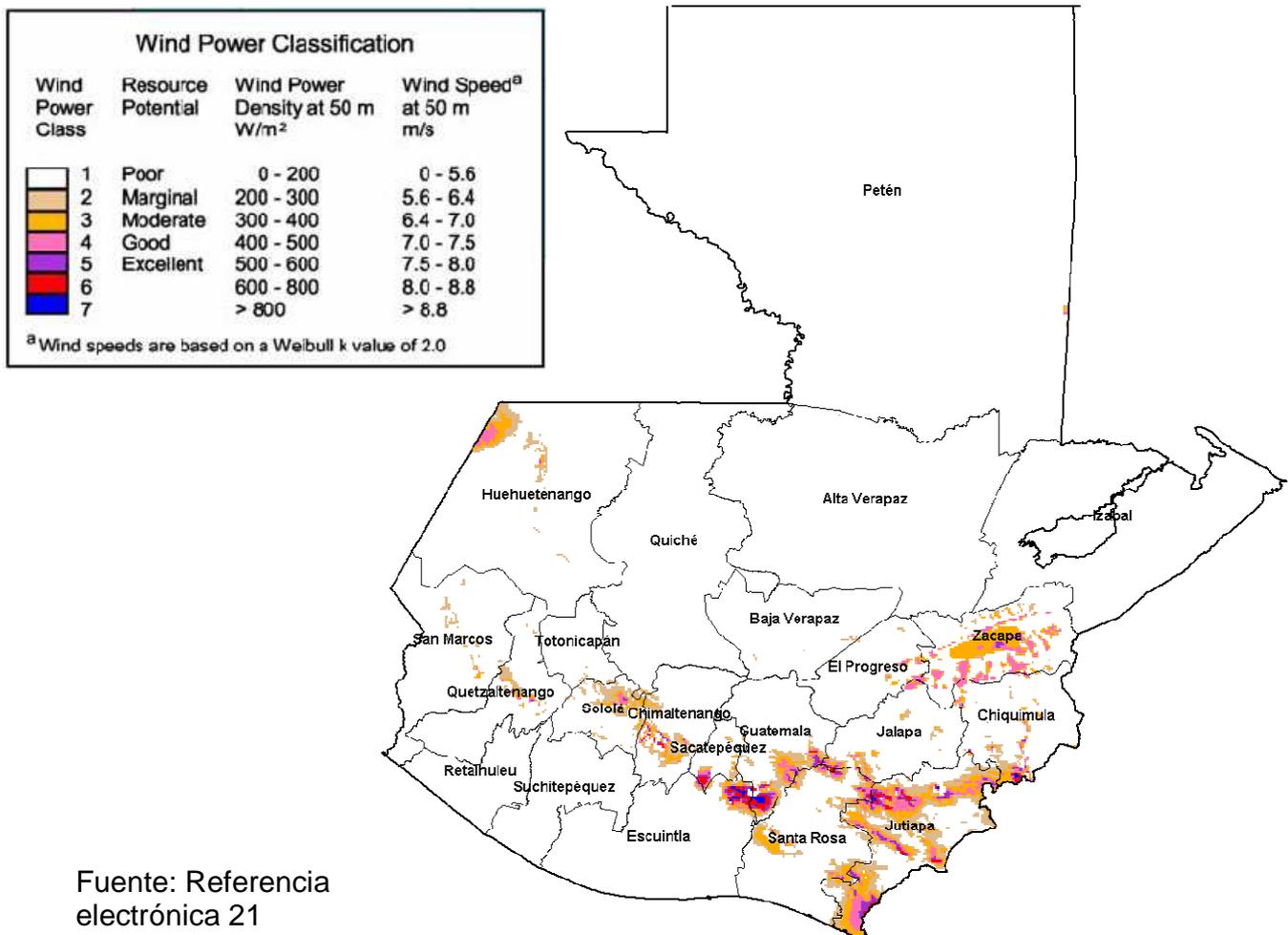
Durante los meses de marzo a junio, el viento mantiene un componente Sur, por la presencia de sistemas de baja presión ubicados a lo largo del Océano Pacífico que son responsables de gobernar la circulación o flujo del viento. Cuando estos sistemas de presión son los suficientemente grandes, hacen que el viento logre rebasar los macizos montañosos del Pie de Monte y la Sierra de los Cuchumatanes, llegando hasta los departamentos de Alta Verapaz, Huehuetenango y El Quiché

En los restantes meses de julio a septiembre, el viento también mantiene una componente Norte, debido a la presencia del anticiclón semipermanente del Atlántico, que mantiene un flujo a través del departamento de Izabal; excepto en situaciones donde aparecen los huracanes o tormentas tropicales que hacen que el flujo cambie completamente, pero ello, es forma transitoria.

Con la ayuda técnica y financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se desarrolló el proyecto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), con el propósito de promover la utilización de la energía eólica y solar, minimizando así las barreras causadas por la falta de información.

Mapa de velocidad (m/s) y densidad de potencia del viento (W/m^2) a una altura de 50 m, para Guatemala

Figura 29. Mapa de la clasificación del viento, según la densidad de potencia y velocidad



Fuente: Referencia electrónica 21

Las primeras cuatro torres de medición instaladas en el 2005 por el Ministerio de Energía y Minas, se encuentran localizadas en los siguientes municipios:

- San Marcos, San Marcos.
- Alotenango, Sacatepéquez.
- Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá.
- Estanzuela, Zacapa

Se cuentan con los datos de la torre para medición de variables eólicas instalada en la aldea El Rodeo, municipio de San Marcos, San Marcos; que se encuentra a 275 km de la ciudad capital de Guatemala, a una altura de 3.349 msnm, latitud 15°02'33.5'' y longitud 91°51'41.5''

En el mapa que se encuentra a continuación, se observan las torres instaladas en los distintos departamentos para medición de variables eólica:

Figura 30. Mapa de la ubicación de las torres para medición de propiedades del viento en Guatemala



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, referencia electrónica 21

A continuación se presentan los resultados de las mediciones de las velocidades promedio y la dirección del viento, para la torre instalada en San Marcos; así como la temperatura promedio mensual, medida a 30 metros de altura.

Tabla III. Velocidad promedio, temperatura y dirección del viento, para la torre instalada en San Marcos

Año 2006	Velocidad promedio (m/s)	Dirección	Temperatura °C
Enero	7.8	24	8.7
Febrero	6.2	25	9.6
Marzo	6.5	22	10.2
Abril	5.7	23	10.3
Mayo	4.4	346	10.6
Junio	5.0	346	10.1
Julio	5.9	346	9.9
Agosto	5.8	346	10.4
Septiembre	5.0	346	10.2
Octubre	5.1	346	10.9
Noviembre	5.6	346	9.6
Diciembre	6.8	345	9.3
Promedio	5.8		10

Fuente: referencia electrónica 21

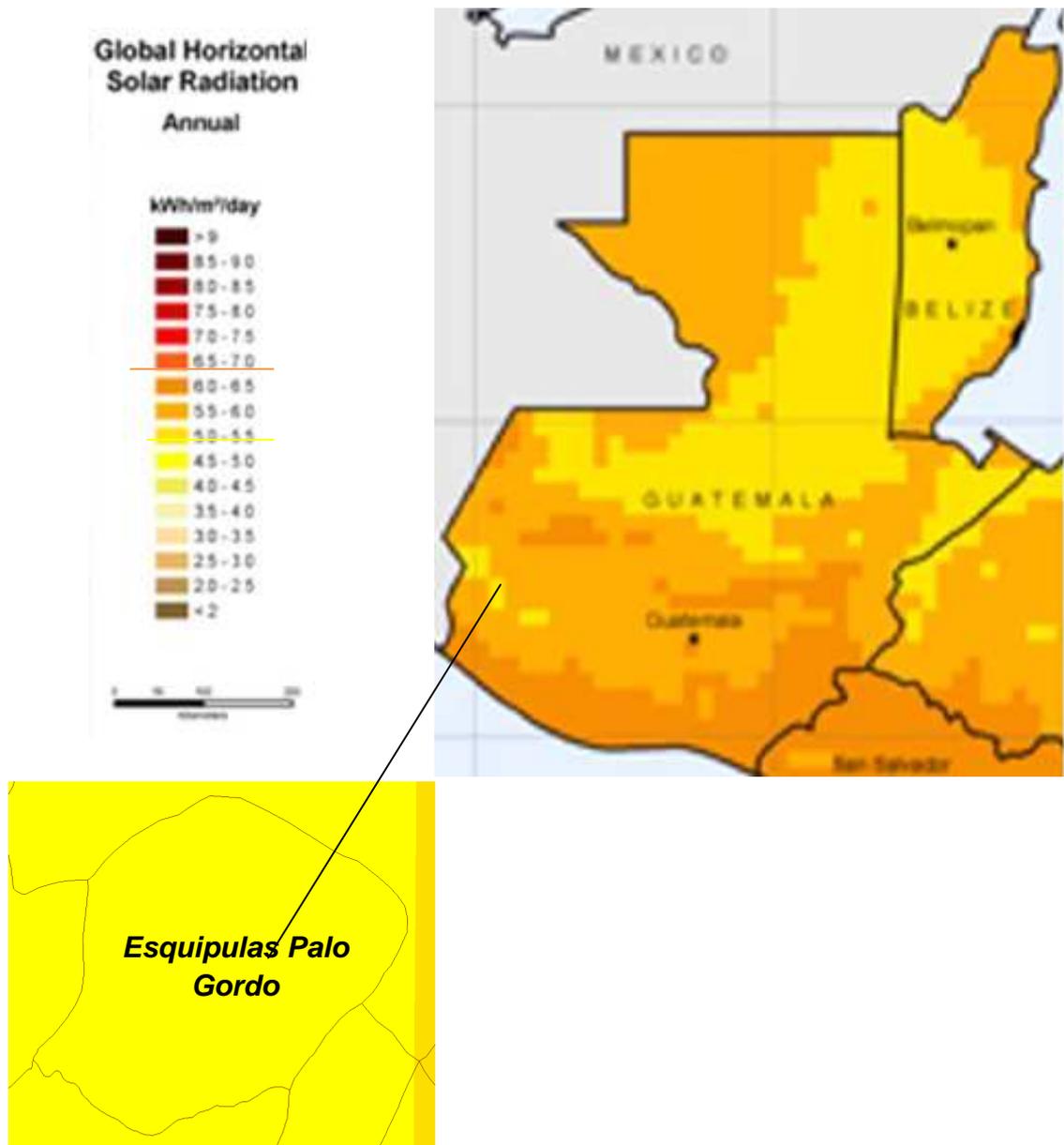
Para la realización de este proyecto se dispone de esta información para el departamento de San Marcos, respecto a la velocidad del viento, la densidad de potencia del viento y la radiación promedio anual solar.

Tabla IV. Promedio anual de la radiación solar global sobre una superficie horizontal a 10 km (kWh/m² por día) en Esquipulas Palo Gordo, San Marcos

Enero	4.63
Febrero	5.436
Marzo	5.701
Abril	5.476
Mayo	5.189
Junio	4.989
Julio	5.058
Agosto	5.083
Septiembre	4.613
Octubre	4.219
Noviembre	4.289
Diciembre	4.616
Anual global	4.939

Fuente: programa SWERA_GST

Figura 31. Mapa de radiación solar global anual y directa normal, en kWh/m²/día, para Guatemala, desarrollado por el programa SWERA_GST, aplicación SWERA3



Fuente: referencia electrónica 21

2.2.2 Experiencias previas en energías renovables en la zona

En Guatemala además de los estudios sobre recursos naturales que se han realizado en los últimos años, se han desarrollado proyectos energéticos utilizando energías renovables en regiones alejadas o rurales donde el suministro de electricidad no ha sido posible.

Desde años atrás se han desarrollado proyectos de generación eléctrica utilizando energías renovables en comunidades o regiones rurales, para solucionar la escasez del servicio.

La energía solar que se utilizó inicialmente en Guatemala en el área rural, en escuelas de telesecundaria, en clínicas, para refrigeración de medicinas, y para el bombeo de agua. En la actualidad, ya unas 18 mil familias tienen en sus viviendas un panel solar, según el censo de población de 2002, realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Estos pequeños sistemas fotovoltaicos, tienen un valor de entre Q4 mil y Q5 mil, y generan una potencia de 40 a 60 Watts (vatios). Con esa energía pueden proporcionar luz continua de tres lámparas, una de 20 W y dos de 10 W, durante cuatro horas.

La cartera del Ministerio de Energía y Minas inició proyectos de electrificación rural con paneles fotovoltaicos desde 1994 hasta el 2003, y quedaron instalados tres mil 435 paneles fotovoltaicos solares. (Fuente: Periódico Prensa Libre, S.A. 06/11/05. Guatemala)

Estos sistemas fueron instalados en 80 comunidades ubicadas en los departamentos de Quiché, Chiquimula, Alta y Baja Verapaz, Zacapa, Petén,

Huehuetenango, Izabal, Jutiapa, Retalhuleu y Escuintla. El costo del programa fue de Q12.2 millones.

No obstante el censo de población de año 2002, del INE, destacó que unas 18 mil familias se proveen de energía a través de la luz solar, el citado ministerio no tiene un registro estadístico de cuánta población hace uso de estos sistemas, pues dejó de ser ejecutor de este tipo de proyectos y ha pasado a ser coordinador

La instalación de paneles fotovoltaicos, últimamente, ha estado a cargo de entidades privadas, organizaciones no gubernamentales o fondos sociales, como el de la Paz (FONAPAZ), el de Inversión Social (FIS) y otros.

En el año 2007 el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, con el fin de reducir su factura eléctrica y promover el uso de energías renovables, inauguró el 26 de noviembre, un programa piloto de energía fotovoltaica para alumbrar el exterior de su edificio central y las 16 lámparas del Despacho Superior.

El costo del proyecto piloto asciende a unos Q 29 mil, gracias a la utilización de paneles solares reciclados, esperando que este sistema genere un ahorro de Q6.500,00 anuales en la factura eléctrica, al desconectar 16 lámparas de 60 W y 3 de alumbrado público de 150 W (Fuente: Diario El Periódico, 27/11/07, Guatemala)

Muchas instituciones no gubernamentales han promovido el desarrollo de las energías renovables para la generación de electricidad, en este caso el Ministerio de Energía y Minas ya no ha intervenido directamente en la ejecución de tales proyectos. A continuación se describen algunos de los proyectos que se han desarrollado en los últimos años:

Programa de Pequeñas Donaciones del FMAM, ejecutado por PNUD Guatemala: a partir de octubre de 2002 a octubre de 2003 se desarrolló la segunda fase de un proyecto en el caserío Agua Tibia de la Finca Quecá, municipio de Sipacapa, San Marcos, a través de la provisión solar para 25 hogares rurales y 3 edificios públicos (escuela primaria, juzgado, salón de usos múltiples).

La comunidad de Agua Caliente ahorraría el equivalente a US\$ 600.00 anuales en aparatos y/o recursos para iluminación derivados del petróleo (lámparas de kerosén, candelas de cera de petróleo, etc.), equivalentes a un ahorro de 1.666,24 kilogramos de kerosén al año.

Los sistemas fotovoltaicos instalados son capaces de producir un total de 8.54 kW/día, beneficiando a un total de 156 personas en esta comunidad, usando los 30 sistemas que se instalaron. El proyecto incluyó la participación de 25 mujeres y 25 hombres de la comunidad. Veinte de ellos, fueron capacitados en la instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos instalados, mientras las 25 mujeres, conformadas en un comité específico iniciaron la formación de un fondo de mantenimiento y reparación de los sistemas, para contar con los recursos necesarios para sustituir aquellos componentes de los sistemas que deben cambiarse regularmente (baterías de almacenamiento de energía, alambrado, por ejemplo), estos fondos provienen de los ahorros que las familias copartícipes hacen, por no tener que comprar candelas y kerosén.

Los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil garantizada de 25 años y el fondo generado para ese momento permitirá su sustitución.

Monto de la donación: Q. 159,097.28, equivalentes a US\$19,887.16 (2002) para un año de ejecución, el beneficiario de la donación organización no gubernamental Promoción Ecológica y Desarrollo Integral, S.C. [23]

Durante los años 2002 y 2003 se desarrolló un *proyecto de Energía Renovable en la comunidad de Laj Chimel, Uspantán, Quiché*, con la colaboración de Sol y Viento, Italia y Energía Global Internacional, asistido por la Fundación Rigoberta Menchú Tum, el cual consistió en lo siguiente:

1. Instalación de 17 Sistemas de Iluminación Fotovoltaica domiciliar (SIFD)
2. Instalación de 3 Sistemas de Iluminación Fotovoltaica para centro comunitario
3. Instalación de 1 Sistema de energía fotovoltaica para teléfono comunitario
4. Instalación de un Sistema de Refrigeración con energía fotovoltaica para vacunas.
5. Instalación de un sistema de telesecundaria con energía fotovoltaica
6. En bodega 20 SIFD para instalarlos en el momento que se construyan las viviendas definitivas de igual número de beneficiarios. [33]

Además se brindó asesoría para el buen funcionamiento futuro de dichos equipos: Capacitación a las familias beneficiadas para el manejo y mantenimiento de los sistemas de iluminación fotovoltaica domiciliarios. También se capacitó a los miembros del comité pro-mejoramiento y electricistas locales, en la importancia de la organización para la administración y mantenimiento de los sistemas.

El Proyecto de Electrificación de la Aldea Santuario, Sayaxché, Petén fue desarrollado en 1997 por el programa ACNUR/CECI. Esta comunidad contaba con 63 familias que fueron beneficiadas con un panel solar para la escuela, que fue instalado por NRECA.

Luego del proceso de empoderamiento comunitario, la comunidad dirigida por el Presidente Juan Caal, presentó una solicitud para que se les apoyara con la electrificación de sus residencias, ofreciendo una modalidad de costo compartido. Debido a la dispersión de las viviendas en la comunidad, los técnicos de NRECA consideraron que podría aplicar una estación central fotovoltaica y una pequeña red de distribución. Sin embargo, al hacer la consulta a la comunidad, ellos rechazaron el diseño propuesto y escogieron la opción de sistemas fotovoltaicos independientes en cada hogar.

NRECA y la Comisión de Energía de la comunidad, acordaron que cada vecino debería aportar Q600.00 (US\$75.00), para cubrir el costo de la inversión inicial, pagar una cuota mensual para el fondo semilla para la reposición de componentes, asistir a las capacitaciones y dar el mantenimiento respectivo a los equipos. Luego de conocer los compromisos, el listado de interesados se redujo a 42 familias, quienes firmaron un convenio de transferencia de responsabilidades.

La Embajada de El Japón atendió una solicitud planteada por NRECA, para instalar 115 paneles fotovoltaicos en varias comunidades con voluntad de participación. La comunidad de Santuario fue integrada a este paquete. El proyecto se desarrolló con éxito pleno y luego de 5 años (2002) de operación, siguió siendo un proyecto inspirador para otras comunidades vecinas, quienes presentan largas listas de comunidades, que desean un proyecto igual a Santuario y están dispuestos a cubrir parte del costo de inversión del proyecto.

En Santuario, cada vecino entrega Q25.00 al mes (U\$3.13) a la Comisión responsable del Proyecto en calidad de ahorro. Estos fondos ahorrados han sido utilizados para reponer algunos componentes principales de los sistemas. El ahorro y el gasto es individual y la Comisión debe tener control de los montos ahorrados y gastados por cada individuo en la adquisición de componentes y accesorios para los sistemas. [11]

2.2.3 Pertinencia de un programa de capacitación básica a los usuarios

La instalación de sistemas de generación eléctrica a partir de energías renovables está integrado por: el subsistema de generación eléctrica (paneles fotovoltaicos, miniturbinas eólicas, mini-hidroeléctricas, etc.), subsistema de acumulación de energía, subsistema de regulación (regulador de carga y descarga) y subsistema de acondicionamiento de potencia (inversor, si es necesario)

Anteriormente, se indicó que las instalaciones aisladas necesitan un sistema de acumulación compuesto por acumuladores o baterías, que comúnmente son baterías de plomo-ácido con electrolito líquido.

Al realizar una implantación de estos sistemas en áreas rurales y/o alejadas, se debe efectuar un programa de inspección y mantenimiento. De esta forma se puede asegurar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil del sistema. Si no se realiza, seguramente el sistema no será eficiente en cuanto a generación eléctrica y los diferentes componentes se deterioran antes de lo previsto.

Es por ello que previo al término de la construcción del sistema, los futuros usuarios, deben recibir una capacitación completa, donde se les enseñe cómo funciona el sistema y cómo debe realizarse el mantenimiento de éste, para que su funcionamiento sea eficiente y duradero.

Los talleres nacionales y los programas de capacitación son adecuados para el desarrollo de estos sistemas energéticos, organizados ya sea por instituciones gubernamentales, no gubernamentales o por empresas que promueven el uso de estas energías.

En las experiencias de uso de energía renovable en Guatemala, descritas en la sección anterior, se han integrado programas de capacitación a los que los usuarios deben asistir previo al término de la construcción del sistema, es decir, todo proyecto de esta naturaleza debe incluir un apartado sobre capacitación para futuros usuarios.

Así también, en la construcción de la instalación (sistema), deben ser involucrados los futuros usuarios, para que observen todo lo que conlleva su construcción y funcionamiento, logrando que su colaboración sea activa desde la planificación hasta su construcción. Con ello se sentirán comprometidos e involucrados en todo el desarrollo del proyecto.

Al cabo de la construcción, debe iniciarse un programa de mantenimiento anual previamente realizado por los usuarios, con la ayuda de la o las entidades ejecutoras del proyecto. Todos los futuros usuarios deben involucrarse en la elaboración de este programa para que no se presenten dificultades por desacuerdos y falta de organización, que puedan deteriorar el sistema o llevarlo a la finalización de sus operaciones

El mantenimiento genera un costo, que debe ser cubierto por los usuarios, por medio de la fijación del cobro de una tarifa (mensual, bimestral u otra), para cubrir las reparaciones futuras y/o repuestos del sistema (acumuladores, electrolito de batería, dispositivos electrónicos y eléctricos, etc.). Esta tarifa debe haberse fijado al momento de realizar el programa de mantenimiento.

2.3 Conclusiones

1. Las viviendas se encuentran alejadas entre sí, por ello no es posible hacer un sistema centralizado de energías renovables
2. Se diseñará un sistema individual, es decir, uno para cada vivienda, utilizando energías renovables, ya sea energía fotovoltaica o energía eólica.
3. No se diseñará un sistema híbrido, debido a que las necesidades básicas de la población se restringen únicamente a iluminación, acceso a radio y televisión.
4. Según los recursos naturales, disponibles en Guatemala, es posible realizar un sistema individual utilizando energía eólica o energía solar fotovoltaica.

3. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE UTILIZADOS EN ÁREAS RURALES

En Guatemala, el Gobierno Central está realizando inversiones, en el tema de electrificación rural a través de la extensión de la red y el uso eficiente de los recursos naturales, a través de la promoción y ejecución de proyectos de estufas mejoradas, paneles fotovoltaicos, pequeñas hidroeléctricas, mini-turbinas eólicas y otras menos convencionales. Muchos de esos esfuerzos han sido orientados para alcanzar indicadores relacionados con metas cuantitativas en el corto plazo. Por el contrario, poco esfuerzo se ha desplegado en promover la participación de los usuarios finales, en apoyos complementarios como educación, capacitación e información, para que usen racional, productiva y sostenidamente esas inversiones, de manera que se conviertan en medios efectivos para alcanzar una mejor calidad de vida.

El reto de energizar Guatemala debe ser abordado considerando los grados de dificultad que tiene el área rural, donde predominan zonas con difícil acceso, viviendas dispersas, familias de bajos ingresos, bajo consumo energético y con muy pocas oportunidades en general. Para electrificarlas se necesita de una visión integradora y una estrategia consistente e incluyente de los entes responsables y de sus líderes, así como de un sistema solidario y equitativo, que genere confianza para atraer recursos económicos.

Guatemala posee recursos naturales suficientes para promover y ejecutar proyectos de generación eléctrica utilizando energías renovables, específicamente en áreas rurales, a través de: pequeñas hidroeléctricas, miniturbinas eólicas, paneles fotovoltaicos, etc.; también se pueden realizar sistemas mixtos con estas energías.

Aunque la situación energética de Guatemala en áreas rurales ha mejorado en los últimos años, los proyectos realizados por las distintas entidades y autoridades gubernamentales y no gubernamentales no son suficientes. Un 85% aproximadamente de la población guatemalteca tiene suministro de energía eléctrica [11], el resto que aún no la tiene, está constituida por el área rural. El desarrollo de las comunidades rurales sin suministro eléctrico, se detiene o estanca, pues muchas actividades que podrían realizar, necesitan equipos que funcionan con energía eléctrica.

Se tienen antecedentes en Guatemala, sobre la utilización de energías renovables para la generación eléctrica en comunidades rurales, que se han descrito en el capítulo anterior. Además se encuentran algunas fotografías de la comunidad en estudio, observando que las viviendas están alejadas unas de otras, por ello el sistema que debe diseñarse es un sistema individual de corriente alterna, utilizando un inversor, para transformar la tensión de corriente directa a tensión de corriente alterna.

A continuación se analizan algunos sistemas de generación eléctrica a partir de energías renovables, considerando para su análisis los criterios siguientes: disponibilidad tecnológica, viabilidad energética, viabilidad económica, impacto ambiental y necesidad de mantenimiento

3.1 Análisis del sistema de energía solar fotovoltaico

En el capítulo uno se describió la energía solar fotovoltaica así como sus aplicaciones actuales. Dentro de estas aplicaciones se encuentra la implantación de sistemas de energía solar fotovoltaica en comunidades o viviendas alejadas.

Esta aplicación es aislada a la red de conexión eléctrica, porque su objetivo principal es el suministro de energía eléctrica a lugares alejados o remotos, que necesitan electricidad ya sea para satisfacer necesidades primarias: iluminación, entretenimiento, trabajos agrícolas y domésticos; como para utilizarla en equipos pequeños de transmisión, comunicación, señalización, etc.

Los componentes básicos de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a viviendas, son los siguientes:

- Módulos y/o generadores fotovoltaicos
- Acumuladores o baterías
- Regulador de carga y/o descarga
- Inversor u ondulator (si procede)
- Dispositivos de control y seguridad
- Cableado para el transporte de la electricidad hacia el consumo

Tomando en consideración la *disponibilidad tecnológica* en Guatemala, es decir el abastecimiento de la tecnología para este tipo de sistema, en lo que respecta a equipos, repuestos, tiempo de entrega y accesibilidad a la región problema específicamente, aldea Buena Vista, Esquipulas Palo Gordo, San Marcos.

SADEESA es una empresa guatemalteca fundada desde 1,985 que ha proveído de electricidad solar y eólica a pequeños y grandes agricultores que están fuera del alcance de la red de electrificación y también ha instalado equipos en la ciudad de Guatemala, paneles solares, turbinas eólicas etc.

SOLARTECH es una empresa de origen alemán, que tiene un distribuidor en Guatemala, en la venta e instalación de sistemas de electricidad para energía solar y eólica así como bombas de agua solares, sistemas para escuelas, etc., ha trabajado para el Fondo de Inversión Social FIS, en la ejecución de proyectos de suministro eléctrico a comunidades rurales.

Al hacer un análisis de la *viabilidad energética de un sistema fotovoltaico*, se debe tomar en cuenta los recursos naturales solares disponibles en Guatemala, si la radiación global solar promedio es de 5.3 kWh/m² por día; así también en el mapa 2.5 del capítulo anterior, se observan los valores de la radiación solar promedio en el territorio guatemalteco, en un intervalo de 4.5 a 6.0 kWh/m² por día.

Entonces, la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el municipio de Esquipulas Palo Gordo, departamento de San Marcos, es factible desde el punto de vista energético, según los recursos naturales disponibles.

Al hablar de *viabilidad económica* de un sistema fotovoltaico, se puede mencionar la variación del precio del vatio-hora producido por un sistema fotovoltaico, según el tamaño de la instalación, que depende de la demanda o consumo de energía eléctrica. Si el consumo es elevado, es necesario que el subsistema de generación (paneles fotovoltaicos) sea de mayor capacidad y tamaño, por ello los paneles ocupan más espacio o área para realizar la instalación, aumentando el costo total de la instalación, y por ende el precio del vatio-hora producido. Por ejemplo un sistema de 100 vatios genera 0.35 kWh por día, mientras que un sistema de 10 kW genera 35 kWh por día; por lo tanto un sistema fotovoltaico requiere más fuentes de generación que otros sistemas de energía renovable (eólico, minihidroeléctrica)

Los gastos están representados por todos los costes asociados directamente con la construcción y el funcionamiento del sistema fotovoltaico: costes de inversión, los costes de funcionamiento (mantenimiento, alquiler de contador, seguro, etc.), en su caso, los costes de financiación (intereses de crédito, etc.) y los fondos de reserva para reparaciones.

El precio de los módulos fotovoltaicos, oscila entre los 3.5\$ y los 5.0 \$ por Watt, producidos, en función de la cantidad que se compre y la procedencia. Los más baratos provienen de China y debe tenerse prudencia y cuidado con la calidad y garantía de los mismos. El precio de 8 \$ por Watt producido, aunque algo barato, es el precio completo aproximado de una instalación fija: módulos, estructuras de soporte, inversor u ondulador, protecciones, sistemas de medición, costos del proyecto, instalación y permisos administrativos; aunque un precio normal está entre 8.6 y 9.0 \$/W. Si la instalación es con seguidores solares de dos ejes, el costo puede rondar los 10.60 \$ por Watt producido, aunque la producción eléctrica obtenida es del orden de un 30% superior que en una fija.

Figura 32. Ejemplos de instalación de paneles fotovoltaicos en comunidades rurales para iluminación de viviendas (izquierda) e iluminación pública (derecha)



Con respecto al *impacto ambiental* que genera la instalación de sistemas individuales fotovoltaicos, así como los componentes de cada uno, instalados en las viviendas, no producen mayor impacto en el ambiente y en la población, siendo estos sistemas, estáticos, además de las siguientes razones:

Al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosión es nula. Tampoco se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La repercusión sobre la vegetación es nula, y al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Los paneles fotovoltaicos tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los techos de las viviendas.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica representa la mejor solución para aquellos lugares a los que se quiere dotar de energía eléctrica preservando las condiciones del entorno; como es el caso de los Espacios Naturales Protegidos.

Con respecto al *mantenimiento* que genera un sistema de energía fotovoltaico, es mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

Los paneles fotovoltaicos requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración: no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Es conveniente hacer una inspección general una o dos veces al año: asegurarse de que las conexiones entre paneles y hacia el regulador estén bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente utilizar agua.

La simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas. Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación del conexionado y cableado del equipo; observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro: dan un índice del comportamiento de la instalación.

El acumulador es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones usuales que deben realizarse son las siguientes:

Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente; al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería. Si se dispone de un densímetro, se procede a medir la densidad del electrolito.

Tabla V. Ventajas y desventajas de la generación eléctrica con energía solar fotovoltaica

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Merece la pena, gracias a la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable (Decreto 52-2003) en Guatemala. ◦ La energía que procede del sol es limpia y renovable, además produce un ahorro de CO₂. ◦ Activo protector del medio ambiente, pues no consume combustibles, no genera residuos, no produce ruidos. ◦ Un sistema individual puede dimensionarse según las necesidades de los usuarios. ◦ Los sistemas fotovoltaicos integrados por inversores trabajan con corriente alterna y se pueden utilizar equipos de mayor potencia. ◦ Las instalaciones fotovoltaicas gozan de una larga duración, son silenciosas y se caracterizan por su simplicidad. ◦ La energía generada, puede ser combinada con otras fuentes de energía renovable, como por ejemplo, eólico ó hidro. ◦ Es una solución inmejorable en zonas aisladas que, de otra forma, no tendrían acceso a la electricidad. ◦ En el caso de las instalaciones aisladas, la ventaja de la energía fotovoltaica es indiscutible dado que evita cuantiosas inversiones en infraestructura. ◦ Tienen una vida larga (los paneles fotovoltaicos duran aproximadamente de 20 a 30 años). ◦ Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad. ◦ No existe una dependencia de los países productores de combustibles. ◦ Tolera aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Aunque el silicio es barato, por ser el constituyente principal de la arena de todas las playas, el proceso de creación de las obleas finales es muy complejo y caro. ◦ Varía según la época del año y según el clima. ◦ Todos los sistemas fotovoltaicos aislados necesitan almacenamiento. ◦ Los sistemas individuales en corriente directa son de poca potencia. Pero los sistemas centralizados pueden sufrir abusos eléctricos por parte de algunos usuarios. ◦ El rendimiento obtenido de la luz solar no es muy elevado si se le compara con el terreno que ocupa; aproximadamente se produce energía eléctrica por un valor de un 13 % de la energía solar recibida.

3.2 Análisis de un sistema de energía eólica

Anteriormente se ha definido en qué consiste la energía eólica, sus aplicaciones y algunas particularidades que deben tomarse en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de esta fuente renovable.

Dentro de las aplicaciones de la energía eólica están los sistemas autónomos o aislados, que son utilizados para suministrar energía eléctrica a pequeños consumidores: bombeo de agua, calefacción, cabañas y casas de campo, alimentación de cercas eléctricas, vehículos eléctricos o de recreo, telecomunicaciones, electrificación de comunidades rurales, etc.

En el área rural de Guatemala, existen muchas comunidades que no cuentan con el suministro de energía eléctrica, como es la aldea Buena Vista de la que ya se ha discutido en el capítulo anterior. Un sistema aislado de generación eléctrica utilizando energía renovable, es una buena opción para solucionar este tipo de problemas

Si se utiliza la energía eólica para el suministro de energía eléctrica a esta comunidad, se debe analizar cómo se encuentra la energía eólica en Guatemala, según los recursos naturales, viabilidad económica, el mantenimiento, el impacto ambiental, etc.; con esto se puede determinar si es viable y prudente, desarrollar un proyecto energético, utilizando la energía eólica

Los avances que se han realizado en Guatemala, en cuanto a la utilización de energía renovable, específicamente la energía eólica, son la instalación de torres de medición de propiedades eólicas en diferentes departamentos del país, desarrollado por el Ministerio de Energía y Minas

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) desarrolló el proyecto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) para la construcción de mapas de velocidad del viento y densidad de potencia eólica en Centroamérica y El Caribe.

Por ello, la viabilidad energética para la implementación de un sistema de energía eólico en la comunidad Buena Vista, está en función de lo discutido a continuación:

Una de las torres se instaló en el municipio de San Marcos a unos 3000 msnm, aproximadamente y los resultados que se obtuvieron en la medición de variables eólicas, son bastante optimistas, sin embargo, la comunidad donde se implementará el sistema de generación eléctrica, está situada en el municipio de Esquipulas Palo Gordo, a unos 2300 msnm

Esta diferencia de altitud puede manifestarse en el dimensionamiento del sistema de energía eólica, debido a que los datos de la torre de medición no describen precisamente el comportamiento del viento en el municipio de Esquipulas Palo Gordo, es decir, hay disponibilidad de recurso eólico en la zona; pero los datos existentes no pertenecen a este municipio, provocando probablemente que el funcionamiento del sistema no sea el esperado y la generación de energía eléctrica no sea suficiente para cubrir la demanda de los usuarios.

Además en las fotografías de la comunidad, se observa que ésta, se encuentra circundada por numerosos árboles, que son obstáculos para el viento; es decir, la instalación de las miniturbinas eólicas debe situarse en torres suficientemente altas para evitarlos, causando incremento en el costo total del sistema.

En cuanto a la disponibilidad tecnológica en Guatemala, exactamente en el departamento de San Marcos, según la oferta de equipos y repuestos, el tiempo y accesibilidad de entrega al departamento y a la comunidad, etc.; deben citarse las empresas distribuidoras y/o proveedoras de dicha tecnología presentes en Guatemala o en la región Centroamericana.

En la sección anterior, se mencionaron algunas empresas guatemaltecas que proveen y distribuyen, equipos y herramientas para la construcción de sistemas fotovoltaicos y eólicos.

Si para la construcción de un sistema aislado de energía eólica, se utilizan los siguientes componentes:

- Miniturbina eólica o pequeño aerogenerador
- Acumuladores o baterías
- Regulador
- Inversor (cuando se precise)
- Cableado hacia el consumo
- Consumo en corriente alterna
- Consumo en corriente directa

Figura 33. Esquema de un sistema de energía eólica

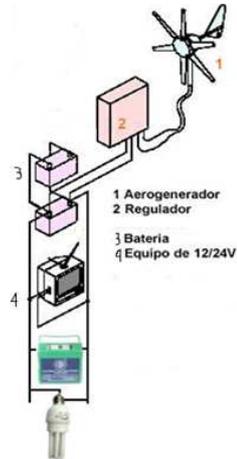


Figura 34. Instalación mixta fotovoltaica-eólica en Guatemala



Fuente: MEM, referencia electrónica 21

La energía eólica ha contribuido al desarrollo del potencial endógeno de las regiones menos favorecidas (áreas rurales), cuyos recursos naturales encuentran así una oportunidad de fomento que, de lo contrario, su viabilidad económica haría difícil aprovechar, y, de esta forma, a la reducción de las disparidades regionales.

La ocupación de espacio que produce la energía eólica es muy reducida. Además, la energía eólica es compatible con los usos que se producen en los terrenos antes de su implantación.

El costo del vatio hora producido por un sistema eólico, tanto aislado como conectado a la red, es menor que el de otras fuentes de energía renovable. Sin embargo, no debe tomarse en cuenta el costo de baterías en un sistema aislado, ya que, tanto en un sistema eólico como en un fotovoltaico, el uso de baterías es necesario y su costo no depende del generador utilizado (miniturbina eólica, panel fotovoltaico), sino depende del consumo de electricidad.

Promover esta fuente de energía en el propio territorio, constituye una actuación positiva, que mejora el autoabastecimiento propio y disminuye la dependencia del exterior en materia energética.

La participación de la energía eólica en áreas rurales reduce costos de instalación, ya que la generación de energía, no necesita de grandes áreas para su instalación o equipos de costos elevados, para cubrir la demanda de los usuarios. Por ejemplo, un sistema de 0.5 kW genera entre 0 y 8 kWh por día, mientras que un sistema de 10 kW genera entre 0 y 200 kWh por día, en contraparte un sistema fotovoltaico para generar esta cantidad de energía necesita de varios equipos generadores que ocupan mucho más área, elevando el costo del sistema.

En un sistema eólico, todas las turbinas eólicas o aerogeneradores deben inspeccionarse regularmente y ser objeto de mantenimiento. “La vida de una turbina eólica está directamente relacionada con el compromiso del propietario”, según Sagrillo [5, 109]

Los sistemas de energía eólica al estar constituidos por máquinas rotatorias y aerodinámicas están expuestas a desgaste y fricción en su estructura interna, causando con ello el arreglo y/o sustitución de las piezas, revisión y apriete de tuercas (si procede), engrase y lubricación de piezas mecánicas, y en algunos casos puede requerirse el repintado de algunas partes de la máquina.

Por lo que hay que planificar cómo se va a acceder a la turbina eólica, para hacer el mantenimiento, trabajar sobre una torre es siempre peligroso, sea una torre de celosía autosostenida o una pesada torre con tensores, escalar puede ser la única opción para el mantenimiento, aunque algunas torres tienen escaleras, deben incluir cable de seguridad.

También hay torres tubulares abatibles con tensores, que deben ser abatidas para poder efectuar el mantenimiento de la turbina eólica. Se debe inspeccionar la turbina y la torre por lo menos dos veces al año.

En la sección anterior se mencionó que la instalación del sistema será individual, o sea una por cada vivienda; pero si se realiza este tipo de sistema con energía eólica, las pequeñas turbinas eólicas instaladas en cada vivienda provocan un impacto negativo.

Este impacto puede ser visual, al instalarse varias máquinas de este tipo, afectando el paisaje y el entorno natural de la comunidad. Además por ser máquinas de pequeña potencia, son instaladas a bajas alturas, muy próximas a las viviendas, el tipo aerodinámico de estas máquinas produce una contaminación sonora, por el ruido del viento al chocar con la aspas.

La altura de instalación de pequeñas turbinas eólicas, es relativamente baja en comparación de la instalación de las turbinas o aerogeneradores de gran potencia.

La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas son ruidosas cuando operan bajo vientos fuertes, este es un hecho indudable. No obstante, algunas son más que otras. Estas son tan ruidosas cuantitativamente como las turbinas eólicas de tamaño mediano que producen 10-100 veces su potencia. Que el ruido sea molesto o no, depende de la velocidad del viento, cuán cerca se encuentren las personas de la turbina.

De las mediciones directas del ruido producido por aerogeneradores de 660 kW se concluye que a más de 400 metros de la instalación no se oye el ruido del parque; a 45 metros, con una velocidad del viento de 8 m/s, la sonoridad es de 57,2 decibelios disminuyendo a 51,6 dB(a) a 100 m de distancia y a 45,6 dB(a) a 200 metros. El nivel sonoro aumenta en 0,45 dB(a) por cada m/s que se incrementa la velocidad del viento. [5, 121]

Como este gradiente es inferior al del ruido ambiental, a velocidades altas de viento (entorno de 15 m/s) y distancias cortas del aerogenerador, el ruido ambiente sobrepasa al producido por el molino.

Tabla VI. Ventajas y desventajas de la generación eléctrica con energía eólica

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◦ La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. ◦ Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón, las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales. ◦ La energía eólica no deja ningún tipo de residuos ni de emisiones dañinas para el medio ambiente. ◦ Es utilizable en todo lugar en donde exista un nivel adecuado de vientos. ◦ La energía eólica es una energía que se puede producir en el lugar en donde se va a utilizar, no teniendo que transportarla grandes distancias. ◦ Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables. ◦ Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo, prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, patatas, remolacha, etc. ◦ Su utilización presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosión. No produce vertidos o grandes movimientos de tierras. ◦ Las instalaciones son fácilmente reversibles, pudiéndose retirar sin dejar rastro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica. - La dificultad intrínseca de prever la generación con antelación, es decir la aleatoriedad del viento plantea serios problemas. - Producen el llamado <i>efecto discoteca</i>: este efecto aparece cuando el sol está por detrás de los aerogeneradores y las sombras de las aspas, se proyectan con regularidad sobre los jardines y las ventanas, parpadeando de tal modo que la gente denominó efecto discoteca a este fenómeno. - El ruido, puede llevar a la gente hasta un alto nivel de estrés, con efectos de consideración para la salud. - La implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje. - Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas, efectos desconocidos sobre modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación.

3.3 Posibles alternativas

El área de Electrificación Rural de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, es el órgano encargado de velar por el desarrollo de la Electrificación Rural del país de Guatemala a efecto de cumplir con el rol subsidiario del estado tal como está establecido en la Ley General de Electricidad y su Reglamento; para proporcionar el servicio de energía eléctrica a los habitantes del área rural, con el objeto de elevar los escenarios de desarrollo de las poblaciones y asimismo el índice de electrificación; con coordinación de entidades públicas y privadas que estudien y ejecuten proyectos de electrificación rural, incluyendo los aspectos técnicos, socioeconómicos y ambientales asociados a la misma.

Su visión es propiciar el desarrollo de los habitantes del área rural a través del suministro de energía eléctrica, por medio de extensión de líneas y redes de distribución, así como la iluminación domiciliar por medio de sistemas fotovoltaicos.

Su misión es cumplir con el papel de Estado, de coordinar las acciones para proporcionar el servicio de energía eléctrica a los habitantes del área rural, teniendo la responsabilidad de elaborar los escenarios de desarrollo de la electrificación en coordinación con entidades públicas y privadas que estudien y ejecuten proyectos de electrificación rural. Desarrollar políticas de planificación para la expansión de la electrificación rural en Guatemala para cubrir la demanda de todas aquellas comunidades que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, a través de estudios socioeconómicos, de prefactibilidad y factibilidad.

Asimismo contribuir a buscar mecanismos que permitan nuevas alternativas de inversión en energías renovables y su seguimiento y financiamiento; por otro lado, determinar esquemas que conlleven a usos productivos de la energía eléctrica.

Según la Ley General de Electricidad y la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable se plantea los siguientes ejes de acción.

- Ejecutar las acciones que sean necesarias en la gestión de financiamiento de proyectos.
- Atender las solicitudes de electrificación rural de diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales.
- Elaborar los estudios de evaluación socioeconómica de proyectos de electrificación rural a ser subsidiados por cualquier entidad del Estado.
- Elaborar los estudios de prefactibilidad y factibilidad de programas de electrificación rural a ser financiados por entidades nacionales e internacionales.
- Elaborar presupuestos de proyectos de electrificación.
- Hacer la evaluación y seguimiento de los proyectos ejecutados.
- En general todas las labores inherentes al Departamento y las que se devenguen de conformidad con las leyes, reglamentos y demás suposiciones legales aplicables.

Sin embargo, a pesar de que exista una institución encargada de la electrificación rural, y dentro de sus funciones está la de promover e impulsar el uso de energías renovables, específicamente la energía fotovoltaica; no existe una ley y reglamento que apruebe la conexión a la red, de estos sistemas.

Algunas industrias como los ingenios generan electricidad por medio de la energía de biomasa, a través de calderas, donde se produce la combustión del bagazo de caña de azúcar, generando electricidad, consumiendo parte de ella en la industria de producción de azúcar, y el excedente es suministrado a la red eléctrica (venta de energía eléctrica a las entidades pertinentes, distribuidores y transportistas)

Actualmente, se están realizando estudios sobre la disponibilidad de recursos naturales para la implementación de sistemas de generación eléctrica utilizando energía fotovoltaica y/o energía eólica en Guatemala. No obstante, es necesario realizar un marco legal que permita la interconexión a red de estos sistemas, y así incentivar a la población, especialmente a los grandes consumidores o usuarios, a utilizar energías renovables para la generación de electricidad, para satisfacer sus necesidades eléctricas y el exceso suministrarlo a la red eléctrica (venta de electricidad a las empresas distribuidoras y transportistas)

Con esto, el mercado de las energías renovables se puede ampliar, dando lugar a la creación de empresas y/o industrias en el campo de energías renovables, creando mayores fuentes de trabajo y especialidades. De tal manera, que la población en general se sentirá más comprometida a utilizar fuentes de energía renovable para satisfacer sus necesidades energéticas, disminuyendo la dependencia de los combustibles, reduciendo la emisión de gases contaminantes, causantes del cambio climático y efecto invernadero.

Es decir, en Guatemala aún no es posible conectar a la red estos sistemas de energías renovables; a pesar que en Costa Rica ya son una realidad (parques eólicos)

3.4 Conclusiones

1. Se diseñará un sistema de energía fotovoltaica aislado a la red para la comunidad Buena Vista, el cual será individual, es decir, una para cada vivienda, debido a que presenta más ventajas que la construcción de un sistema eólico
2. No es posible implementar un sistema de energía eólica en esta comunidad, a pesar de los recursos disponibles en el departamento de San Marcos, específicamente en el municipio de San Marcos.
3. No es conveniente generalizar la disponibilidad del recurso eólico en todo el departamento, porque podrían obtenerse resultados erróneos, en el dimensionamiento de la instalación.
4. Una instalación individual de energía eólica puede causar un impacto negativo en el entorno natural de la comunidad y en la población
5. Un sistema híbrido individual de energía solar fotovoltaica-eólica, no es pertinente realizarlo, por el impacto que puede ocasionar al entorno natural de la comunidad Buena Vista y a su población
6. En Guatemala no es posible conectar a la red sistemas de energía fotovoltaica, debido a que no existe un marco legal que lo regule.
7. Se diseñarán sistemas de energía fotovoltaica, para dos distintos tipos de usuario, según el consumo de éstos.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA INDIVIDUAL

4.1 Definición del sistema

El sistema de energía solar fotovoltaica se implantará en la comunidad rural Buena Vista, ubicada en el municipio de Esquipulas Palo Gordo, departamento de San Marcos, en el capítulo 2 se describieron los aspectos más importantes de la comunidad.

Para el diseño del sistema se describen dos tipos de usuarios, según la situación económica de los habitantes de la comunidad; por lo que se diseñaron dos sistemas individuales diferentes

Estos sistemas de energía fotovoltaica están diseñados para que sean utilizados durante todo el año por los habitantes de la comunidad Buena Vista.

Tabla VII. Consumo teórico de energía eléctrica para el usuario tipo 1

TIPO 1	Cantidad	Equipo	Consumo W	Horas de uso/día	Consumo Wh/día
Cocina	1	lámpara bajo consumo	15	3	45
Habitación	1	lámpara bajo consumo	15	3	45
Corredor y baño	1	lámpara bajo consumo	15	2	30
	1	Radio	20	4	80
Consumo energético teórico total			65		200

Fuente: Trabajo de campo

En este sistema el consumo se simplifica a la iluminación y un equipo electrónico, ya que son las necesidades elementales de las familias que utilizarán estos sistemas; dado que su situación económica no les permite tener acceso a otros equipos.

Tabla VIII. Consumo teórico de energía eléctrica para el usuario tipo 2

TIPO 2	Cantidad	Equipo	Consumo W	Horas/día de uso	Consumo Wh/día
Cocina	1	lámpara bajo consumo	15	3	45
Habitación	1	lámpara bajo consumo	15	3	45
corredor y baño	1	lámpara bajo consumo	15	2	30
	1	Radio	30	4	120
	1	Televisor	70	3	210
Consumo energético teórico total en Wh/día			145		450

Fuente: Trabajo de campo

El sistema del usuario tipo 2, se concibe de esta forma, ya que en la comunidad Buena Vista son pocas las familias que tienen mejores condiciones económicas, por ello el consumo de estas familias consiste en una televisión y un radio de mayor potencia, que lo hace relativamente mayor, al sistema del usuario tipo 1

4.1.1 Consumo eléctrico real de las cargas

La energía diaria teórica requerida (carga diaria) se calculó sumando el producto entre la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno. Normalmente no es suficiente con determinar el valor medio mensual del consumo diario, lo que equivale a suponer un valor de la carga diaria en Wh para cada mes. Se suelen separar los consumos en corriente continua de los consumos en corriente alterna, pues están afectados de factores de pérdidas distintos.

La energía real necesario, E_{elect} se calcula teniendo en cuenta las eficiencias de los distintos subsistemas y las pérdidas. De este modo:

$$E_{elec} = \frac{E_{TCC}}{\eta_b} + \frac{E_{TCA}}{\eta_b \eta_{inv}} \quad [1]$$

donde:

E_{TCC} : carga diaria en corriente continua

E_{TCA} : carga diaria en corriente alterna

η_b : eficiencia carga/descarga de la batería

η_{inv} : eficiencia media diaria del inversor

En estos sistemas solo se utilizarán consumos en corriente alterna, por lo que la ecuación queda simplificada, así:

$$E_{elec} = \frac{E_{TCA}}{\eta_b \eta_{inv}} \quad [2]$$

Para el diseño de ambos sistemas se utilizan valores de $\eta_b = 0.88$ y $\eta_{inv} = 0.9$, entonces, el consumo real de los dos sistemas da como resultado:

E_{T1} : consumo eléctrico teórico del sistema tipo 1= 200 Wh/día

E_{T2} : consumo eléctrico teórico del sistema tipo 2= 450 Wh/día

Utilizando la ecuación [2], se obtiene lo siguiente:

Tipo 1

$$E_{elec} = \frac{E_{T1}}{\eta_b \eta_{inv}} = \frac{200Wh/día}{0.88 * 0.90} = 252.53 Wh/día$$

Tipo 2

$$E_{elec} = \frac{E_{T2}}{\eta_b \eta_{inv}} = \frac{450 Wh/día}{0.88 * 0.90} = 568.18 Wh/día$$

Tabla XIX. Energía consumida corregida de ambos sistemas fotovoltaicos diseñados

Sistema	Consumo teórico E_T (Wh/día)	Coefficiente de corrección $\eta_b \eta_{inv} = 0.88 * 0.9$	Consumo corregido E_{elect} (Wh/día) = $E_T / \eta_b \eta_{inv}$
Tipo 1	200	0.792	252.53
Tipo 2	450	0.792	568.18

4.2 Promedio de la radiación diaria disponible

Se debe estimar, para cada mes, H_S : el promedio de la energía (expresada en kWh/m²*día) de la irradiación solar que incide, durante un día, sobre un metro cuadrado de una superficie situada en el lugar de instalación de los paneles fotovoltaicos y con la misma orientación e inclinación que éstos.

Concepto de hora sol pico, H.S.P.: dado que las características nominales de los módulos fotovoltaicos corresponden a una potencia de la radiación solar incidente de 1kW/m², la energía producida a lo largo de todo un día por un módulo, en un emplazamiento en el que le incide una irradiación media diaria de H_S kW/m², será la misma que producirá dicho módulo si le incidiera una radiación solar constante de potencia 1 kW/m² durante un día imaginario que tuviera un número de horas de sol (todas ellas con 1 kW/m²) igual a H_S .

Por ello, al valor de H_s , expresado en kWh/m^2 se le denomina Horas sol pico, H.S.P.: indica la cantidad de horas de sol, con una intensidad de radiación de 1 kW/m^2 , incidiendo perpendicularmente sobre la superficie de un módulo fotovoltaico, que tendrá un día imaginario en el que el módulo recibiría la misma energía que en un día real. Este razonamiento es válido en el supuesto de que la eficiencia de los módulos fotovoltaicos sea independiente de la potencia de la radiación incidente, suposición bastante válida, aunque no exacta.

La energía media diaria de la radiación disponible para cada mes, expresada en $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ o lo que es lo mismo, en H.S.P.

Los datos de irradiación se obtuvieron al utilizar el software METEONORM Versión 6.0 (demo) Los registros de información más próximos al departamento de San Marcos, son del departamento de Quetzaltenango; el cual se encuentra al Este del departamento de San Marcos, a 50 km de la cabecera departamental San Marcos y a 65 km del emplazamiento del sistema aproximadamente. En cuanto a la altitud, el municipio Esquipulas Palo Gordo, San Marcos, se encuentra a 2501 msnm y Quetzaltenango a 2340 msnm; pero la comunidad Buena Vista que está en el área rural de este municipio, se encuentra a una altura menor, aproximadamente 2400 msnm

Quetzaltenango GT

Latitud 14.836° ; longitud -91.522° ; altitud 2340 ms nm

Modelo irradiancia estándar hora; zona climática V, 2

Radiación: 1981-2000

Modelo irradiación inclinada: Pérez

Azimut 0°

Figura 35. Pantalla del programa METEONORM Versión 6.0 Beta 2 (4 pasos son necesarios para obtener los resultados)



Tabla X. Irradiancia media de la radiación global de una superficie a distintos ángulos de inclinación

	Gh	Gk0°	Gk10°	Gk15°	Gk20°	Gk25°	Gk30°	Gk35°	Gk40°	Gk45°	Gk50°
Enero	5.47	5.45	6.06	6.31	6.51	6.68	6.81	6.89	6.93	6.92	6.88
Febrero	6.16	6.16	6.67	6.86	7.01	7.12	7.18	7.19	7.16	7.08	6.96
Marzo	6.19	6.18	6.42	6.48	6.5	6.49	6.43	6.33	6.2	6.02	5.82
Abril	6.98	6.98	6.96	6.88	6.76	6.60	6.40	6.16	5.88	5.57	5.23
Mayo	5.30	5.30	5.12	4.99	4.84	4.65	4.44	4.22	3.98	3.72	3.45
Junio	5.23	5.23	5.01	4.86	4.69	4.49	4.27	4.04	3.79	3.53	3.25
Julio	5.47	5.47	5.24	5.08	4.89	4.68	4.45	4.19	3.92	3.63	3.33
Agosto	5.78	5.78	5.68	5.57	5.44	5.28	5.08	4.86	4.61	4.34	4.05
Septiem	5.15	5.15	5.23	5.22	5.18	5.11	5.02	4.89	4.74	4.57	4.36
Octubre	4.80	4.79	5.02	5.09	5.14	5.15	5.14	5.09	5.02	4.91	4.78
Noviem	4.61	4.61	4.99	5.13	5.25	5.34	5.39	5.42	5.41	5.37	5.29
Diciemb	4.85	4.85	5.42	5.65	5.85	6.02	6.15	6.24	6.28	6.29	6.26
Anual	5.50	5.49	5.64	5.67	5.66	5.62	5.55	5.45	5.32	5.15	4.96

Fuente: programa METEONORM, Versión 6.0

Gh: irradiancia media de la radiación global horizontal
Gk: irradiancia media de la radiación global superficie inclinada
Radiación en kWh/m²*día
Amarillo: meses de estación seca
Gris: meses de estación húmeda

4.2.1 Peor mes o mes más desfavorable

Se observan los valores de irradiación para distintos ángulos de inclinación, durante todos los meses del año. Tomando en cuenta que en Guatemala se manifiestan dos estaciones: verano e invierno.

Se puede observar en la tabla XII, que la irradiancia media es menor durante el mes de junio, para los ángulos de inclinación de 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45° y 50°; no así para 0° y 10° de inclinación, pues el mes con menor irradiancia es noviembre.

Ahora bien a qué ángulo es preciso colocar los módulos fotovoltaicos, si la irradiancia es menor durante el mes de junio, se debe escoger el ángulo de inclinación, con mayor irradiancia durante el mes de junio.

Al revisar los datos de la tabla X, el ángulo de inclinación adecuado para los módulos durante el mes de junio, es 15°, éste se utilizará para realizar todos los cálculos del diseño del sistema. Obsérvese que el promedio anual de irradiancia es de 5.67 kW/m²*día

Para determinar el peor mes del año, según la radiación solar y el consumo de la instalación a diseñar, a un ángulo de inclinación determinado de los módulos, se procede de la siguiente forma:

Para cada uno de los meses del año, se calcula el cociente entre el consumo medio total diario de energía eléctrica, E_{elect} y promedio de la radiación diaria disponible en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos, H_S

$$Y = \frac{E_{elect}}{H_S} \quad [3]$$

Y viene expresado en $(Wh/día) / (kW/m^2 \cdot día) = (W) / (kW/m^2)$

Es decir, Y tiene unidades de superficie, de manera que si el valor de Y obtenido se divide por 1,000 da como resultado una superficie en m^2 (las unidades de Y serían directamente m^2 si E_{elect} y H_S se expresan ambas en Wh o en kWh)

El cociente Y, expresado en m^2 , representa 1,000 veces la superficie necesaria para que la energía media diaria de la radiación solar incidente sobre ésta sea igual a la energía diaria consumida por los receptores, o lo que es lo mismo, el cociente Y, expresado en m^2 , representa 1000 veces la superficie que debería tener un módulo fotovoltaico ideal, de rendimiento igual al 100%; para satisfacer las necesidades diarias de energía eléctrica de la instalación receptora.

El subsistema de captación fotovoltaico se dimensiona para cubrir las necesidades durante el mes peor, es decir, aquel en el que la relación entre el promedio diario de las necesidades de energía eléctrica y la radiación solar media diaria disponible resulta más desfavorable, o sea, el que le corresponda el valor Y_{max} , valor máximo de los valores de Y de cada mes.

Tipos de usuarios:

Tipo 1: consumo $E_{elect} = 252.53$ Wh/día

Tipo 2: consumo $E_{elect} = 568.18$ Wh/día

Ejemplo:

Usuario tipo 1, mes de enero, ángulo de inclinación de los módulos 15°

$H_S = 6.31$ kW/m²•día o H.S.P.

De la ecuación [3] se obtiene:

$$Y = 252.53 / 6.31 = 40.02 \text{ m}^2 \cdot 10^{-3}$$

Nota: de igual forma se procede para los otros meses del año y para el usuario tipo 2.

El valor de Y_{max} se obtuvo en el mes de junio, para los dos tipos de usuarios definidos (sistemas individuales); por lo tanto el peor mes es *junio*, comprobando lo discutido anteriormente.

Tabla XI. Datos calculados del cociente Y para todos los meses del año, determinación del peor mes del año

Mes	$H_S 15^\circ$ (H.S.P., kW/m ² •día)	Consumo corregida 1 Wh/día	Y (m ² •10 ⁻³) Tipo 1	Consumo corregida 2 Wh/día	Y (m ² •10 ⁻³) Tipo 2
Enero	6.31	252.53	40.02	568.18	90.04
Febrero	6.86	252.53	36.81	568.18	82.82
Marzo	6.48	252.53	38.97	568.18	87.68
Abril	6.88	252.53	36.70	568.18	82.58
Mayo	4.99	252.53	50.61	568.18	113.86
Junio	4.86	252.53	51.96	568.18	116.91
Julio	5.08	252.53	49.71	568.18	111.85

Agosto	5.57	252.53	45.34	568.18	102.01
Septiembre	5.22	252.53	48.38	568.18	108.85
Octubre	5.09	252.53	49.61	568.18	111.63
Noviembre	5.13	252.53	49.22	568.18	110.76
Diciembre	5.65	252.53	44.69	568.18	100.56

4.3 Subsistema de captación de energía

Lo compone específicamente el módulo fotovoltaico, ya que este dispositivo aprovecha la energía del sol y la convierte en energía eléctrica. En el capítulo uno se ha descrito el funcionamiento básico de los módulos fotovoltaicos.

Dentro de este sistema de captación de energía hay que mencionar la fuente de energía natural, para luego ser convertida en energía eléctrica, que nos es más que la radiación solar disponible en el lugar de instalación del sistema (emplazamiento). Comúnmente no existen datos tabulados concretos de la radiación solar en la ubicación exacta de la instalación fotovoltaica planeada (a menos que se estime a partir de expresiones analíticas), por lo que deben de tomarse los datos correspondientes a la ubicación, con datos disponibles, más representativa del emplazamiento escogido, lo que, normalmente, significa la ubicación más cercana.

Debe prestarse especial atención a que los datos de radiación utilizados correspondan a superficies con las mismas características de orientación e inclinación que los módulos fotovoltaicos.

Los valores de radiación diaria disponible se pueden presentar en distintas unidades, siendo las más comunes: kWh/m², MJ/m² y kJ/m². En el método de cálculo utilizado, los datos de la energía solar diaria disponible, se expresan en kWh/m².

4.3.1 Ubicación de los módulos fotovoltaicos

La ubicación del o los módulos fotovoltaicos será lo más próxima a las viviendas, y se instalarán donde su exposición a los rayos solares sea la mejor, para obtener la mayor radiación solar; es decir, la estructura soporte y, por ende, los módulos fotovoltaicos se ubicaran en un lugar libre de sombras, especialmente, durante las horas centrales del día; de modo que los módulos, una vez montados, dispongan de la orientación e inclinación más adecuada.

El anclaje de los módulos será sobre el suelo, muy cercanos a las viviendas para que la distancia sea mínima entre los módulos, el subsistema de regulación y el subsistema de acumulación, evitando que se produzcan pérdidas en el transporte de energía eléctrica, a través del cableado; puede verse un ejemplo en la ilustración siguiente:

Figura 36. Ejemplo de la instalación de módulos fotovoltaicos en una comunidad rural



Debido a la situación geográfica de Guatemala, en el trópico de Cáncer, la trayectoria del Sol sobre el plano del observador, es bastante diferente a la trayectoria del Sol en España, especialmente durante el verano.

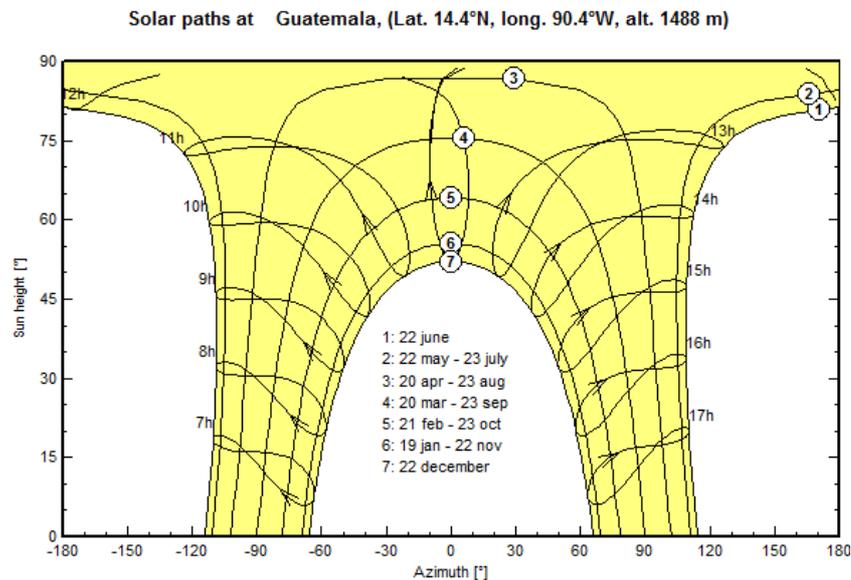
Las horas de sol promedio mensual durante el día se muestran a continuación:

Tabla XII. Horas de salida, puesta del Sol y horas de sol durante el día, en el año 2006

Mes	Hora de Salida del sol	Hora de Puesta del sol	Horas de Sol durante el día
Enero	06:27	17:51	11:24
Febrero	06:22	18:04	11:42
Marzo	06:07	18:10	12:03
Abril	05:47	18:15	12:28
Mayo	05:34	18:22	12:48
Junio	05:32	18:30	12:58
Julio	05:39	18:31	12:52
Agosto	05:46	18:21	12:35
Septiembre	05:49	18:01	12:12
Octubre	05:53	17:41	11:48
Noviembre	06:03	17:31	11:28
Diciembre	06:17	17:36	11:19

Fuente: INSIVUMEH, Guatemala 2006

Figura 37. Trayectoria del Sol (hora solar) en Guatemala



Fuente: programa PVSYST Versión 4.21 (demo)

Según los valores de la irradiancia o radiación solar obtenida utilizando el programa METEONORM Versión 6.0, se determinó que el ángulo de inclinación al que los módulos se van a instalar, es de 15° respecto a la horizontal, el cual será fijo, es decir se utilizará tanto en la estación invernal como en la de verano. Utilizando la irradiancia o irradiación solar obtenida con un ángulo de inclinación de 15°, se efectuaron los cálculos para diseñar y dimensionar los dos sistemas fotovoltaicos, tomando en cuenta el mes más desfavorable; es decir, aquel que tenía el valor de irradiancia o irradiación solar menor, de todos los meses del año.

Como en el mercado hay módulos fotovoltaicos de diversas potencias máximas: 5, 30, 50, 75, 100, 150, 165 (W), etc.; según la demanda de energía que se precise.

Asimismo hay paneles de diversas calidades, según las celdas cristalinas de silicio semiconductor de las que están formados sean monocristalinas (la más eficientes y caras), policristalinas (menos eficientes pero más baratas) o amorfas (poco eficientes pero muy baratas)

4.3.2 Elección del tipo y número de módulos fotovoltaicos

En este punto, es imprescindible tener realizada la elección del tipo de módulo fotovoltaico concreto que va a instalarse, o, al menos, la potencia pico de los módulos, P_{mod} , expresada en W_P , vatio-pico.

Todos los cálculos y el dimensionado que se desarrollan a partir de aquí, se refieren al peor mes y se realizan con los datos correspondientes a dicho mes.

En primer lugar, se va a calcular la energía producida por un único módulo fotovoltaico, de la potencia pico escogida, P_{mod} (Wp), durante un día cualquiera (perteneciente al peor mes). Para ello, se debe recordar que la potencia pico de un módulo es la potencia que produce el panel medida en unas condiciones estándar que suponen una radiación incidente de $1,000 \text{ W/m}^2$ (lo mismo sucede con la intensidad pico y la tensión nominal)

La energía producida, durante una hora, por un panel de potencia pico P_{mod} (Wp) sobre el que incide una radiación solar de una intensidad igual a $1,000 \text{ W/m}^2$ es igual a P_{mod} (Wh)

$$H_S (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}) * P_{mod}(\text{Wp}) = \text{Energía diaria producida por un panel (Wh/día)} \quad [4]$$

Tomando en cuenta la expresión anterior, el número de paneles N_{mod} , necesarios para cubrir las necesidades diarias de los receptores viene dado por la siguiente ecuación.

$$N_{mod} (\text{número de módulos}) = 1.1 E_{elect}(Wh/día) / [H_S(kWh/m^2 * día) * P_{mod}(Wp)] \quad [5]$$

Lo que equivale también, a:

$$N_{mod} (\text{número de módulos}) = 1.1 Y_{max}[(Wh/día)/(kWh/m^2 * día)] / P_{mod}(Wp) \quad [6]$$

El coeficiente 1.1 es un factor de seguridad para hacer frente a imprevistos y a la depreciación de las prestaciones de los diferentes componentes del sistema fotovoltaico por diferentes causas (depreciación debida al envejecimiento, pérdida de rendimiento debida a que los valores nominales suelen ser referidos por el fabricante para una temperatura de los módulos de 25°C mientras que, frecuentemente, éstos trabajan a temperaturas superiores a 40°C, etc.). Equivale a un sobredimensionamiento del 10%

Por la aplicación de este sistema fotovoltaico aislado en una comunidad rural, según sus necesidades energéticas, se pueden utilizar módulos fotovoltaicos con potencia máxima (pico) desde 40 W. Sin embargo, se van a utilizar módulos fotovoltaicos de 65 W de potencia pico o máxima

Ejemplo:

Usuario tipo 1

$$Y_{max1} = 51.96 \text{ m}^2 * 10^{-3}$$

$$P_{mod} = 65 \text{ Wp}$$

De la ecuación [6], se obtiene

$$N_{mod} = \frac{1.1 * 51.96}{65} = 0.879 \cong 1 \text{ módulo}$$

Nota: de la misma forma se procede para el usuario tipo 2, utilizando $Y_{max2}=116.91 \text{ m}^2 * 10^{-3}$.

Tabla XIII. Número de módulos para los dos tipos de usuarios, utilizando módulos de 65 Wp

Usuario	$Y_{m\acute{a}x} (\text{m}^2 * 10^{-3})$	Módulo 65 Wp
Tipo 1	51.96	1
Tipo 2	116.91	2

El número de módulos fotovoltaicos que deben de conectarse en serie $N_{S,mod}$, se determina, primeramente, fijando la tensión de trabajo nominal del sistema fotovoltaico $V_{T,acu}$, de tal manera que la tensión de salida del campo fotovoltaico (tensión nominal de módulo fotovoltaico V_{mod} (normalmente, 12 V) iguale a la tensión de las baterías, siendo el número entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal del módulo.

$$N_{S,mod} = V_{T,acu} / V_{P,mod} \quad [7]$$

El voltaje o tensión nominal del módulo no debe confundirse con el voltaje o tensión de circuito abierto; ya que la mayoría de los módulos de 36 células tienen un voltaje nominal de 12 V

El número de módulos conectados en paralelo, $N_{P,mod}$ (en realidad, $N_{P,mod}$ es el número de ramas o conjuntos de $N_{S,mod}$ módulos conectados en serie que deben conectarse en paralelo), puede hallarse como:

$$N_{P,mod} = \frac{N_{mod}P_{mod}/V_{P,mod}}{I_{P,mod}} \quad [8]$$

De este modo, el número total de módulos fotovoltaicos, N_{mod} , es igual al producto:

$$N_{mod} = N_{S,mod} * N_{P,mod} \quad [9]$$

El número final total de módulos, N_{mod} debe poderse expresar como el producto de dos números naturales, $N_{S,mod} \times N_{P,mod}$, siendo uno de ellos prefijado ($N_{S,mod}$), de modo que, si el número de paneles obtenido inicialmente no cumple esta condición, deberá aproximarse al mínimo número inmediato superior que la cumpla, modificando, para ello el valor de $N_{P,mod}$ (puesto que el valor de $N_{S,mod}$ viene fijado por la tensión de trabajo de las baterías y no puede modificarse)

En el sistema del usuario tipo 1, no es necesario realizar los anteriores cálculos, ya que el número de módulos fotovoltaicos para éste es de uno, utilizando módulos de 65 Wp

En cambio en el sistema del usuario tipo 2, si es necesario realizar estos cálculos. Si la tensión de trabajo del subsistema de acumulación tendrá un valor de $V_{T,acu}=12V$ y la tensión nominal o pico de cada módulo fotovoltaico es $V_{P,mod}= 17.4 V$, entonces:

Utilizando las ecuaciones [7], [8] y [9], se obtiene:

$$N_{S,mod} = 12V / 17.4V$$

$$N_{S,mod} = 0.69$$

$N_{S,mod} \cong 1$ módulo en serie

$$N_{P,mod} = \frac{2 * 65 Wp / 17.4 V}{3.75 A}$$

$$N_{P,mod} = 1.99 \text{ módulos}$$

$N_{P,mod} \cong 2$ módulos en paralelo

$N_{mod} = 1$ módulo en serie x 2 módulos en paralelo

$N_{mod} = 2$ módulos de 65 Wp

Tabla XIV. Distribución de los módulos fotovoltaicos en los sistemas diseñados

Usuario	Paralelo	Serie
Tipo 1	1	-
Tipo 2	2	-

En el sistema usuario tipo 1, el montaje es sencillo, debido a que se trabaja con un solo módulo, es posible que el marco o soporte pueda realizarse con vigas de madera o de aluminio; pero es conveniente que los habitantes de la comunidad colaboren con la realización del marco o soporte del módulo, aprovechando los recursos o materiales disponibles en la zona.

En cambio, el sistema fotovoltaico usuario tipo 2, está compuesto por 2 módulos de potencia pico mayor-igual a 65 Wp. Los módulos se conectarán en paralelo, porque la tensión de trabajo del subsistema de acumulación a diseñar será de 12 V.

4.3.3 Características técnicas de la superficie de captación

Los módulos fotovoltaicos que se van a utilizar en esta aplicación son de silicio policristalino, con potencia pico mayor-igual a 65 Wp.

La elección del módulo se realizó según costo y disponibilidad tecnológica en Guatemala; ya que el costo de un módulo depende de la potencia, calidad y fabricante.

A continuación se presentan las especificaciones del módulo que se utilizará en el diseño y construcción de los dos sistemas fotovoltaicos.

Tabla XV. Especificaciones del módulo KC65T-1, brindadas por el fabricante KYOCERA SOLAR

Especificaciones del módulo KC65T-1	
A 1000 W/m² (STC)*	
Potencia nominal [W]	65
Tolerancia de potencia[%]	+10/-5
Tensión de sistema máximo [V]	750
Tensión con potencia nominal [V]	17.4
Corriente con potencia nominal [A]	3.75
Voltaje circuito abierto [V]	21.7
Corriente en corto circuito [A]	3.99
A 800 W/m² (NOCT)**	
Potencia nominal [W]	47

Tensión con potencia nominal [V]	15.3
Corriente con potencia nominal [A]	3.01
Voltaje circuito abierto [V]	19.7
Corriente en corto circuito [A]	3.22
NOCT [°C]	47
Coefficiente de temperatura de la tensión en circuito abierto [V/°C]	-8.21x10 ⁻²
Coefficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito [A/°C]	1.59x10 ⁻³
Reducción del nivel de eficacia de 1000 W/m ² a 200 W/m ²	6.1
MEDIDAS	
Largo [mm]	751
Ancho [mm]	652
Altura/ incluyendo caja de contacto [mm]	36/54
Peso [kg]	6.0
Tipo de conexión	Bornes atornillables
Caja de contacto [mm]	120x180x46
Código IP	IP65
DATOS GENERALES	
Garantía de rendimiento**	10 ^{***} /20 años ^{****}
Garantía	2 años
CÉLULAS	
Cantidad por módulo	36
Tecnología celular	Policristalina
Forma celular	Rectangular
Conexión de células	3 busbar

* Los índices eléctricos son válidos en condiciones de prueba estándar (STC): Irradiación de 1000 W/m².

Masa de aire AM 1.5 y temperatura celular de 25 °C.

** Los índices bajo temperatura operativa nominal de las celdas (NOCT):

Irradiación de 800 W/m², masa de aire

AM 1,5, velocidad del viento de 1m/s y temperatura ambiente de 20 °C

*** 10 años el 90 % de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC).

**** 20 años el 80 % de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC).

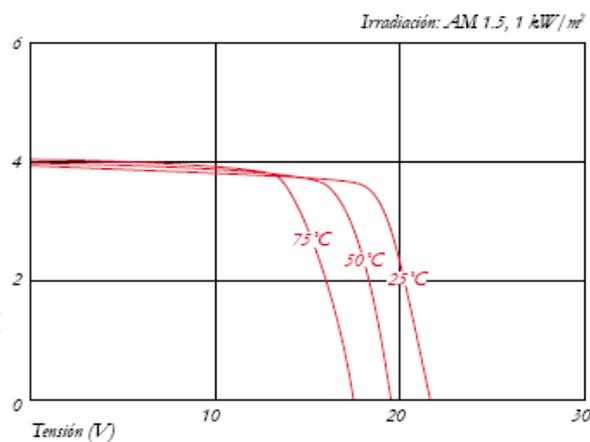
Fuente: Catálogo de KYOCERA Solar

Figura 38. Módulo fotovoltaico policristalino KYOCERA KC65T-1



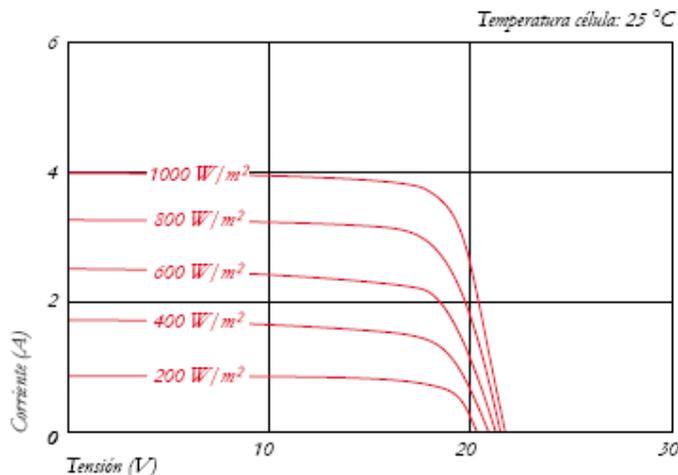
Fuente: catálogo KYOCERA Solar
(www.kyocerasolar.es/index/products/standard_solar_modules/kc65t-1.html)

Figura 39. Curvas características de tensión y corriente a distintas temperaturas de la célula en el módulo fotovoltaico



Fuente: catálogo de productos KYOCERA Solar

Figura 40. Curvas características de tensión y corriente con distinta irradiación



Fuente: catálogo de productos KYOCERA Solar
(www.kyocerasolar.es/index/products/standard_solar_modules/kc65t-1.html)

Para la conexión de los módulos, debe definirse la tensión de trabajo del subsistema de acumulación $V_{T,acu}$. En este proyecto los sistemas fotovoltaicos a diseñar trabajarán con una tensión de 12 V.

En el montaje de los módulos fotovoltaicos, específicamente la estructura soporte, es conveniente realizarla con aluminio o vigas de madera, utilizar los recursos materiales de que disponen los habitantes (futuros usuarios), además colaborar con mano de obra.

En la implantación de los módulos para ambos sistemas debe fijarse correcta y seguramente al suelo la estructura soporte, de tal manera que sean capaces de soportar lluvias y/o vientos fuertes

Figura 41. Ejemplos del montaje de los módulos fotovoltaicos



Fuente: Cuaderno de campo de electrificación rural fotovoltaica

Finalmente, una vez determinados el número de módulos conectados en serie, $N_{S,mod}$, el número de ramas conectadas en paralelo, $N_{P,mod}$, y el número de módulos totales, N_{mod} , pueden calcularse los principales parámetros eléctricos totales del subsistema de capacitación de energía o campo fotovoltaico, según las expresiones.

Potencia pico total de subsistema de captación de energía, P_{gen} :

$$P_{gen} (Wp) = N_{mod} (n^{\circ} \text{total de módulos}) * P_{mod} (Wp/\text{módulo}) \quad [10]$$

Intensidad pico total de salida del subsistema de captación de energía, $I_{P,gen}$

$$I_{P,gen} (A) = I_{P,mod} * N_{P,mod} \quad [11]$$

Intensidad total de cortocircuito del subsistema de captación de energía,

$$I_{SC,gen} \quad I_{SC,gen} (A) = I_{SC,mod} * N_{P,mod} \quad [12]$$

Tensión nominal total de salida del subsistema de captación de energía,

$$V_{gen} \quad V_{gen} (V) = V_{mod} * N_{S,mod} \quad [13]$$

Tensión pico total de salida del subsistema de captación de energía,

$$V_{P,gen} \quad V_{P,gen} (V) = V_{P,mod} * N_{S,mod} \quad [14]$$

Tensión total en circuito abierto del subsistema de captación de energía,

$$V_{OC,gen} \quad V_{OC,gen} (V) = V_{OC,mod} * N_{S,mod} \quad [15]$$

Siendo, P_{mod} la potencia nominal o pico de un módulo; $I_{P,mod}$, la intensidad pico de un módulo; $I_{SC,mod}$, su intensidad de cortocircuito; V_{mod} , la tensión nominal de un módulo; $V_{P,mod}$, su tensión pico, y $V_{OC,mod}$ su tensión en circuito abierto.

Los anteriores parámetros son establecidos por el fabricante de los módulos fotovoltaicos; los cuales varían proporcionalmente según la potencia pico del módulo y el fabricante.

Se utilizan para realizar el cálculo de los parámetros anteriores, los valores establecidos por el fabricante KYOCERA Solar, para el módulo policristalino 65 W:

Tabla XVI. Parámetros de los módulos fotovoltaicos marca KYOCERA, según especificaciones del fabricante

Parámetros	Módulo KC65T-1
P_{mod}	65 W
$I_{P,mod}$	3.75 A
$I_{SC,mod}$	3.99 A
V_{mod}	12 V
$V_{P,mod}$	17.4 V
$V_{OC,mod}$	21.7 V

Fuente: Catálogo de KYOCERA Solar

Para el sistema del usuario tipo 1

$N_{mod}= 1$ módulo fotovoltaico de 65 Wp, utilizando las especificaciones del módulo fotovoltaico de 65 Wp, marca KYOCERA

De las ecuaciones [10] a la [15], se obtiene:

$$P_{gen} (Wp) = 1 * 65 = 65 \text{ Wp}$$

$$I_{P,gen} (A) = 3.75 * 1 = 3.75 \text{ A}$$

$$I_{SC,gen} (A) = 3.99 * 1 = 3.99 \text{ A}$$

$$V_{gen} (V) = 1 * 12 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

$$V_{P,gen} (V) = 1 * 17.4 = 17.4 \text{ V}$$

$$V_{OC,gen} (V) = 1 * 21.7 = 21.7 \text{ V}$$

Nota: Para el sistema de usuario tipo 2, se procede de la misma forma, para obtener los valores de los parámetros totales, según la potencia pico del módulo a utilizar 65 Wp.

Tabla XVII. Parámetros totales para los dos sistemas diseñados, utilizando módulos de 65 Wp, marca KYOCERA para el usuario tipo 1 y usuario tipo 2, respectivamente

Parámetros totales	Usuario tipo 1, 65 Wp	Usuario tipo 2, 65 Wp
P_{gen} (Wp)	65	130
$I_{P,gen}$ (A)	3.75	7.50
$I_{SC,gen}$ (A)	3.99	7.98
V_{gen} (V)	12.0	12.0
$V_{P,gen}$ (V)	17.4	17.4
$V_{OC,gen}$ (V)	21.7	21.7

4.4 Subsistema de acumulación de energía

Al igual que sucede con los módulos fotovoltaicos, los acumuladores o baterías deben conectarse adecuadamente para conseguir los requerimientos eléctricos de conexión con el resto del sistema fotovoltaico.

En primer lugar, todos los elementos acumuladores que se van a conectar deben ser del mismo tipo e idénticas características (misma capacidad, tensión, etc.) y funcionar en las mismas condiciones. Ya se tiene conocimiento que, cuando se conectan varios acumuladores en serie, se suman las tensiones, y la capacidad total obtenida es igual a la capacidad individual de uno de los acumuladores. Cuando se conectan varios acumuladores en paralelo, la capacidad total obtendría es igual a la que poseen cada uno de los acumuladores conectados.

En la medida de lo posible, se evitará la conexión de acumuladores en paralelo debido a que, si existen acumuladores que se encuentran, por diversas causas, en distinto estado electroquímico, pueden establecerse corrientes eléctricas que circulen entre los distintos acumuladores conectados, disminuyendo la eficiencia y las prestaciones del conjunto.

En la conexión de elementos acumuladores en serie, se deben, seleccionar acumuladores individuales que, a ser posible, tengan aproximadamente la capacidad total que se desea (de lo contrario se deben conectar, además en paralelo, situación a evitar, en lo posible) conectando tantos elementos individuales como sean necesarios para obtener la tensión de trabajo requerida.

Los acumuladores deben ubicarse lo más cerca posible del conjunto de módulos fotovoltaicos, para evitar las posibles pérdidas de tensión que puedan originarse.

Las conexiones deben realizarse de la mejor manera, ya que comúnmente son las causantes de las caídas de tensión. Además la batería se debe aislar del suelo mediante una bancada de madera o material resistente al ácido.

Cualquier lugar ventilado posee la suficiente corriente de aires como para evitar la acumulación de hidrógeno y oxígeno, que siempre se desprende en la parte final de la carga de la batería, aunque al ser la carga de los módulos fotovoltaicos lenta, no se produce una excesiva gasificación.

Los acumuladores de ser posible deben mantenerse a una temperatura entre 15°C y 25°C. Una temperatura más baja producirá una disminución de la capacidad disponible de la batería y una más elevada generará un acortamiento de la vida útil.

En el caso de una instalación situada en montes o cerros donde se pueden producir temperaturas bajas, y mantenidas durante varios días; se aumenta la capacidad y protege la batería, mediante elementos aislantes, para que sea afectado mínimamente por las temperaturas. El rendimiento óptimo de un acumulador se produce a los 20°C aproximadamente . [1, 123]

En los sistemas individuales a diseñar, el consumo energético es distinto porque la energía eléctrica diaria solicitada por los receptores, no es igual para los dos usuarios definidos.

Debido a que en Guatemala, la energía eléctrica es distribuida a 110 V en corriente alterna, 60 Hz (en España a 220 V, 50 Hz); la obtención de equipos en corriente alterna, es más accesible tecnológica y económicamente, que la de equipos en corriente continua.

Aunque ambos sistemas van a utilizar lámparas de bajo consumo para la iluminación y equipos electrónicos a 110 V en corriente alterna; el consumo de energía, de estos receptores (lámparas, radio y televisión) son diferentes para cada usuario.

Para la adquisición de las baterías, es importante determinar tanto la capacidad (Ah) como la tensión de trabajo (V) del subsistema de acumulación. Esta última es igual a 12 V en ambos sistemas diseñados.

Para realizar el dimensionado de este subsistema de acumulación deben conocerse o fijarse, de antemano, los siguientes parámetros:

$P_{D,max}$: profundidad máxima de descarga profunda u ocasional, expresada en tanto por uno. En el caso de acumuladores de plomo-ácido $P_{D,max}$ suele estar comprendida entre 0.6 y 0.8, mientras que, en el caso de acumuladores de NiCd es igual a la unidad

$P_{D,diaria}$: profundidad máxima de descarga diaria o superficial admisible, en tanto por uno. En el caso de acumuladores de plomo-ácido $P_{D,diaria}$ suele valer alrededor de 0.2, mientras que, en el caso de acumuladores de Ni/Cd, es igual a la unidad.

$V_{T,acu}$: tensión de trabajo del subsistema de acumulación o baterías, expresada en voltios (los valores más habituales de $V_{T,acu}$ son: 6V, 12V, 24V, 36V, 48V y 120 V)

V_{acu} : tensión nominal de cada elemento acumulador o vaso (alrededor de 2 V en acumuladores de plomo-ácido y entre 1.2 y 1.3 V en acumuladores de NiCd). Las tensiones son mayores en el caso de tratarse de baterías, compuestas de varios vasos.

Debe establecerse el número de días de autonomía de las baterías, N_D , es decir, la cantidad de días que la instalación receptora puede abastecerse de la energía eléctrica suministrada exclusivamente por las baterías (en ausencia total de generación eléctrica por parte de los módulos fotovoltaicos).

La energía almacenada en una batería, E , que tenga una capacidad de C' Ah (amperios hora) y una tensión nominal igual a V_{acu} (voltios) viene dado por el producto de las dos magnitudes anteriores (recuérdese: $1 \text{ W} = 1 \text{ V} * 1 \text{ A}$)

$$E(Wh) = C' (Ah) V_{acu} (V) \quad [16]$$

Por otro lado, la energía que debería almacenarse en un sistema de acumulación, E_{acu} (Wh), que admitiera una profundidad de descarga del 100% para poder suministrar la energía consumida por la instalación receptora durante los días de autonomía especificados, N_D , viene dada por:

$$E_{acu} (Wh) = N_D * E_{elec,m\acute{a}x} (Wh/d\acute{a}a) \quad [17]$$

$E_{elec,m\acute{a}x}$ es el promedio de la energía eléctrica diaria solicitada por la instalación receptora, para el mes en el que el consumo de los receptores es máximo, expresada en Wh/día

Así pues, la energía que debería almacenarse en el sistema de acumulación, E_{acu} (Wh), tras añadir un factor de seguridad de 1.1 por las pérdidas en los cables, viene dada por:

$$E_{acu} (Wh) = 1.1 [N_D * E_{elec,m\acute{a}x} (Wh/d\acute{a}a)] / P_{D,max} \quad [18]$$

De donde, la capacidad necesaria del sistema de acumulación, C'_T (Ah), se obtiene como:

$$C'_T (Ah) = E_{acu} (Wh) / V_{T,acu} (V) \quad [19]$$

$$C'_T (Ah) = 1.1 [N_D * E_{elec,m\acute{a}x} (Wh/d\acute{a}a)] / [P_{D,max} * V_{T,acu} (V)] \quad [20]$$

Para los sistemas a diseñar se fijan los valores de los parámetros mencionados anteriormente, como sigue:

$N_D=5$ días de autonomía

$P_{D,max}= 0.6$ de profundidad máxima de descarga

$V_{T,acu}= 12$ V es la tensión de trabajo de las baterías

Se definieron 5 días de autonomía, debido a que en la estación húmeda o lluviosa en Guatemala, puede permanecer nublado continuamente (lluvioso) de 4 a 5 días, especialmente en el mes de septiembre y principios de octubre. Época donde se registra la mayor formación de tormentas tropicales y huracanes en Norte y Centro América, además generalmente los días de autonomía están comprendidos entre 3 y 10 días.

El valor del parámetro de profundidad máxima de descarga se definió como 0.6, ya que se van a utilizar baterías o acumuladores de plomo-ácido, que permiten profundidades de descarga entre 0.6 y 0.8 (descargas profundas)

Ejemplo:

Usuario tipo 1

$E_{elec,máx}= 252.53$ Wh/día, ya que los receptores (lámparas y radio) son en corriente alterna.

De la ecuación [20], se obtiene:

$$C'_T (Ah)=1.1 [5 \text{ días} * 252.53 \text{ Wh/día}] / [0.6 * 12 \text{ V}]$$

$$C'_T (Ah)= 192.90 \text{ Ah}$$

Nota: de igual forma se realizo para el usuario tipo 2, pero la $E_{elec,m\acute{a}x}= 568.18$ Wh/día.

Tabla XVIII. Capacidad del subsistema de acumulación o baterías en Ah para los dos tipos de usuarios definidos (sistemas individuales)

Usuario	Consumo diario (Wh/día)	Consumo corregido (Wh/día)	Capacidad batería (Ah)
Tipo 1	200	252.53	192.90
Tipo 2	450	568.18	434.03

En la tabla XXIII se observan los resultados: usuario tipo 1, la capacidad de acumulación 192.90 Ah y el usuario tipo 2, con capacidad de acumulación de 434.03 Ah.

En el mercado hay diversidad de fabricantes de acumuladores y baterías, por ello la elección de las baterías debe de realizarse según la capacidad y tensión de trabajo que requieren los sistemas fotovoltaicos.

Especificaciones de la batería a utilizar en los sistemas fotovoltaicos diseñados: Batería Monoblock FAAM TK-FAAM 240 Ah (240Ah con C100)

Aplicaciones:

- Sistemas de energía solar fotovoltaica
- Sistemas back-up
- Telecomunicaciones y torres repetidoras de celulares
- Servicios de emergencia
- Señalización

Detalles de construcción:

- Rejillas: de aleación de plomo-antimonio
- Placa plana
- Electrolito 1,26
- Caja y tapa: de polietileno de alta resistencia

Instrucciones de carga:

Tensión de flotación: 13,8 V a 25° C

Tensión de ecualización y carga: 15 V a 25° C

Características Técnicas:

C10 horas 200 Ah; C100 horas 240 Ah

Intervalo de descarga (rápida -18° C): CEI: 900

DIN: 770

EN: 1500

Tensión: 12 voltios

Dimensiones: 516 x 288 x 240 (mm)

Peso aproximado: 45 kg

Figura 42. Batería monoblock FAAM de 12 V, C10 200 Ah



Fuente: Catálogo de productos de Technosun.

(http://www.technosun.com/es/principal/descargas/tecnicos/72004014_ficha.pdf)

Para el sistema del usuario tipo 1, se utiliza 1 batería monoblock FAAM, ya que ésta brinda al sistema, la capacidad necesaria de 192 Ah a una tensión de trabajo de 12 V

Sin embargo, para el sistema del usuario tipo 2, se han de utilizar 2 baterías monoblock FAAM, colocadas en paralelo, para obtener de esta forma la capacidad de 434.03 Ah, a una tensión de trabajo de 12 V. Aunque esta disposición en paralelo no es tan aconsejable, por diferencias en las baterías que pueden ocasionar mal funcionamiento de carga y/o descarga, se puede disminuir tal riesgo, utilizando baterías con las mismas especificaciones y de una sola marca comercial.

Aunque pueden utilizarse otro tipo de baterías (estacionarias) se eligen éstas (monoblock), por la mayor disponibilidad en el mercado guatemalteco y el costo que representa.

4.5 Subsistema de regulación

Independiente de las características y prestaciones específicas de cada modelo concreto del regulador, deben especificarse los valores nominales de tres parámetros eléctricos, comunes al inversor, para que sea adecuado a una instalación fotovoltaica determinada. Estos parámetros son: la tensión nominal mínima de trabajo del regulador, la tensión máxima de trabajo del regulador y la intensidad nominal del interruptor de acoplamiento entre los módulos fotovoltaicos y las baterías.

La tensión de trabajo del regulador tiene un rango de funcionamiento, según lo establecido en la Orden del 26 de marzo del año 2007 sobre las especificaciones de instalaciones fotovoltaicas andaluzas. En Guatemala no existe una normativa sobre instalaciones eléctricas utilizando energía renovable (eólica, fotovoltaicas, etc.), tomando como referencia dicha orden, de la provincia de Andalucía, España, para instalaciones fotovoltaicas.

Lo anterior se debe a que habitualmente la potencia de los módulos fotovoltaicos se da a condiciones estándar de medida CEM, referidas a 1000 W/m^2 de irradiancia y 25°C de temperatura de célula. Este valor se suele denominar potencia pico y es la potencia nominal por la cual se paga cuando se compra un módulo fotovoltaico. La potencia de un módulo fotovoltaico en operación real es directamente proporcional a la irradiancia recibida, por ejemplo un módulo de 50 Wp , de potencia nominal produce 25 Wp a 500 W/m^2 . Pero también la potencia disminuye con el aumento de la temperatura, del orden del 4 % por cada 10°C de aumento de temperatura respecto de los 25°C . Es necesario decir que un módulo fotovoltaico en operación puede alcanzar los 70°C en función de la irradiancia y la temperatura ambiente.

Sin embargo, para la determinación de las tensiones de trabajo del regulador máxima y mínima se fijaron las temperaturas de célula 10°C y 70°C , respectivamente, con un valor de irradiancia de 1000 W/m^2 para ambas temperaturas; debido a que el emplazamiento de los sistemas fotovoltaicos es en una región tropical (San Marcos, Sur-occidente de Guatemala)

Para realizar el cálculo de estas tensiones de trabajo pueden utilizarse ecuaciones que relacionen la temperatura de célula y la irradiancia, o programas de diseño solar (simuladores), considerando las especificaciones del módulo seleccionado.

La intensidad nominal del interruptor de conexión y desconexión de la corriente eléctrica desde el generador fotovoltaico hacia el subsistema de acumulación $I_{Reg,gen-acu}$, debe ser igual a la máxima intensidad de corriente que es capaz de suministrar el campo fotovoltaico, es decir, I_{TCC} (A)

$$I_{Reg,gen-acu} = I_{SC,gen} = I_{SC,mod} * N_{P, mod} \quad [21]$$

Deben preverse los aumentos de las intensidades y las tensiones suministradas por los módulos fotovoltaicos en condiciones medioambientales determinadas, multiplicando, para ello, el valor anterior por 1.25. Por lo tanto, el regulador debe estar diseñado para soportar el anterior valor, utilizando un factor de seguridad

$$I_{Reg,gen-acu} = 1.25 * I_{SC,gen} = 1.25 * I_{SC,mod} * N_{P, mod} \quad [22]$$

Ejemplo:

Sistema usuario tipo 1, utilizando para estos cálculos, datos de un módulo fotovoltaico de 65 Wp, marca KYOCERA

Utilizando las ecuaciones [21] y [22], se obtiene:

$$I_{SC,mod} = 3.99 \text{ A}$$

$$N_{P, mod} = 1 \text{ módulo en paralelo}$$

$$I_{Reg,gen-acu} = 1.25 * 3.99 * 1 = 4.99 \text{ A}$$

Nota: de igual forma se procede para el sistema del usuario tipo 2

Con las especificaciones del módulo KC65T-1 KYOCERA y el programa PVSYST Versión 4.21, se obtuvieron los parámetros de funcionamiento de los reguladores:

Para el sistema del usuario tipo 1, se debe utilizar un regulador con los parámetros de funcionamiento siguientes:

Intensidad nominal del regulador 4.99 A

Tensión máxima $V_{m\acute{a}x} = 18.9 \text{ V}$

Tensión mínima $V_{m\acute{i}n} = 14.4 \text{ V}$

Y para el sistema del usuario tipo 2, el regulador debe elegirse según las especificaciones siguientes:

Intensidad nominal del regulador 9.97 A

Tensión máxima $V_{m\acute{a}x} = 18.9 \text{ V}$

Tensión mínima $V_{m\acute{i}n} = 14.4 \text{ V}$

Tabla XIX. Capacidad del subsistema de regulación para los dos sistemas diseñados, utilizando los parámetros de los módulos KYOCERA de 65 Wp

Parámetros del Regulador	Usuario tipo 1, módulo de 65 Wp	Usuario tipo 2, modulo de 65 Wp
$V_{Reg \text{ min}}$	14.40 V	14.40 V
$V_{Reg, \text{ máx}}$	18.90 V	18.90 V
$I_{Reg, \text{ gen-acu}}$	4.99 A	9.97 A

Especificaciones de los reguladores a utilizar en los dos sistemas fotovoltaicos diseñados:

REGULADOR DE CARGA/ MORNINGSTAR *TM SHS*

Capacidades nominales: (todos a 12 voltios)

SHS-6 100 W ó 6 A para el sistema de carga solar y la carga

SHS-10 170 W ó 10 A para el sistema de carga solar y la carga

Punto de regulación 14.3 V

Desconexión por bajo voltaje 11.5 V

Reconexión por bajo voltaje 12.6 V

Tipo de carga PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante

Carga compensada en temperatura

Protecciones electrónicas

Cortocircuito y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga

Polaridad inversa, en sistema de carga solar, en la carga y en la batería

Corriente inversa por la noche

Alto voltaje — en la carga

Rayos — en sistema solar, en la carga y en la batería

Tropicalización Placa de circuito — recubrimiento según norma

Terminales — protegidos contra corrosión

Terminales para tamaños de cable de hasta 4 mm²

Indicaciones de los LED

Verde: en carga

Niveles de batería: verde, amarillo y rojo

Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión
Los 3 LED destellando — indicación de errores

Dimensiones: 15.1 x 6.6 x 3.6 cm
Peso: 113 g
Consumo propio: 8 mA máximo
Temperatura: -25°C a +50°C
Humedad 100% sin condensación
Encapsulado IP 22
Cumple con normas de CE, Banco Mundial

Figura 43. Regulador de carga marca Morningstar



Fuente: Catálogo Morningstar
www.morningstarcorp.com/products/-spanish/SHS/info/SHS_DataSheet.pdf

La intensidad nominal del interruptor de acoplamiento entre las baterías y los receptores, $I_{Acu, recep}$, debe ser, como mínimo, igual a la intensidad total absorbida por la instalación receptora, en este caso los receptores en CA (en cuyo caso la intensidad total es igual a la intensidad máxima absorbida por el inversor, teniendo en cuenta su rendimiento)

Además, la tensión media en bornes debe estar entorno a los 14 V – 14.5 V para sistemas fotovoltaicos de 12 V nominales, en la salida del regulador hacia las baterías, debido a que han ocurrido situaciones en las que hay generación de energía en los módulos (radiación), pero las baterías no se cargan porque el regulador no está funcionando correctamente, pues su dimensionamiento no es correcto.

4.6 Subsistema de acondicionamiento de potencia

Para el dimensionamiento de este subsistema, se especificaron los requerimientos del sistema:

- a. Forma de onda necesaria
- b. Voltaje DC de entrada que se ha de corresponder con el voltaje de batería, o con el voltaje de salida del convertidor DC/DC
- c. Voltaje AC de salida que ha de corresponderse con el voltaje AC de los consumos en AC
- d. Potencia total de los receptores, es decir la potencia total AC teórica
- e. Tiempo máximo de operación en condiciones de sobrecarga
- f. Potencia del inversor en régimen de servicio continuo P_{inv}
- g. Rendimiento del inversor a potencia nominal
- h. Anotar las especificaciones del inversor, tomar datos de fabricante

Tabla XX. Requerimientos del subsistema de acondicionamiento de potencia

Requerimientos del sistema	Usuario tipo 1	Usuario tipo 2
a. Forma de onda	Senoidal	Senoidal
b. Voltaje DC	12 V	12 V
c. Voltaje AC	110 V	110 V
d. Potencia total de los receptores	65 W	145 W
e. Tiempo de operación en sobrecarga	20 minutos	20 minutos
f. Potencia del inversor	71.50 W	159.5 W
g. Rendimiento a carga nominal	90	90

Así como el campo fotovoltaico y el subsistema de acumulación se dimensionan para cubrir las necesidades energéticas diarias (de uno o varios días, respectivamente) de los receptores, un inversor se dimensiona para satisfacer la demanda de potencia (en régimen permanente) máxima de los receptores, potencia del inversor en servicio continuo, P_{inv} , que es igual al valor máximo de la suma de las potencias de todos los receptores que pueden funcionar simultáneamente.

Es recomendable un cierto sobredimensionamiento de la potencia del inversor en servicio continuo, por ejemplo, un 10 %, para situaciones no previstas de funcionamiento simultáneo de grandes receptores.

Los inversores se caracterizan por dos potencias: la potencia en servicio continuo P_{inv} (mencionada anteriormente) y la potencia pico o en servicio intermitente $P_{P,inv}$

$$P_{inv} = 1.10 * E_{elect,max} \quad [23]$$

Ejemplo:

Usuario tipo 1

$$E_{elect,max1} = 65 \text{ W}$$

De la ecuación [23] se obtiene:

$$P_{inv} = 1.10 * 65 = 71.50 \text{ W}$$

Nota: De la misma forma se procede para el usuario tipo 2, $E_{elect,max2} = 145 \text{ W}$

La corriente máxima entre la batería y el inversor se determina, según la ecuación siguiente:

$$I_{Acu\ recep} = I_{Acu\ inv} \geq I_{Máx,inv} = \frac{P_{inv}}{V_{Mín\ T\ acu} \eta_{inv}} \quad [24]$$

Siendo $I_{Acu\ inv}$ la intensidad nominal del interruptor de acoplamiento entre las baterías y el inversor; $V_{Mín\ T\ acu}$ es el menor valor de la tensión del subsistema de acumulación con el que puede funcionar el inversor, es en esta situación cuando el inversor absorbe una intensidad mayor; y η_{inv} es la eficiencia del inversor a plena potencia (no necesariamente igual a la eficiencia máxima del inversor)

Para los sistemas diseñados se determinará la corriente máxima entre la batería y el inversor:

Usuario tipo 1

$$P_{inv} = 71.50 \text{ W}$$

$$V_{Mín T acu} = 12 \text{ V}$$

$$\eta_{inv} = 0.9$$

De la ecuación [24]

$$I_{Acu inv} = \frac{71.50 \text{ W}}{12 \text{ V} * 0.9} = 6.62 \text{ A}$$

Usuario tipo 2

$$P_{inv} = 159.50 \text{ W}$$

$$V_{Mín T acu} = 12 \text{ V}$$

$$\eta_{inv} = 0.9$$

Utilizando la ecuación [24]

$$I_{Acu inv} = \frac{159.50 \text{ W}}{12 \text{ V} * 0.9} = 14.77 \text{ A}$$

Tabla XXI. Potencia de servicio continuo P_{inv} del subsistema de acondicionamiento de la red (inversor) y corriente entre la batería $I_{Acu\ inv}$ y el inversor para los dos sistemas diseñados, según el consumo

Sistema	Potencia eléctrica en AC(W)	Capacidad del inversor P_{inv} (W)	Corriente batería-inversor $I_{Acu\ inv}$ (A)
Usuario tipo 1	65	71.50	6.62
Usuario tipo 2	145	159.50	14.77

Nota: Las ecuaciones utilizadas para los cálculos han sido tomadas de los libros Tecnología Solar y Sistemas Fotovoltáicos

Tabla XXII. Especificaciones del inversor seleccionado para los sistemas fotovoltáicos diseñados

Marca	Inversor Linkchamp SP150
Modelo	SP-150 DC 12 V
Potencia de salida	150 W Potencia continua 450 W Potencia máxima
Corriente en stand-by	CD 12 V < 0.21 A
Voltaje de entrada	CD 10 V~15 V
Voltaje de salida	AC 100 V, 110 V (220 V, 230 V, 240 V)
Onda de salida	Onda sinusoidal modificada
Eficiencia	90 %
Regulación de salida	± 5 % AVR (regulación automática del voltaje) inteligente
Frecuencia de salida	50/60 Hz ± 0.05 % Controlado por cristal
Refrigeración	Por ventilador inteligente (temperatura/carga)
Protecciones: Cortocircuito salida	Protección contra cortocircuito de salida

Batería baja pre-alarma	< 11 V ± 0.5 V
Desconexión y alarma	< 10 V ± 0.5 V
Sobre-temperatura pre-alarma	> 60 °C
Desconexión y alarma	> 65 °C
Sobrecarga pre-alarma	> 150 W
Desconexión y alarma	> 200 W
Polaridad inversa de la batería	Por fusible
Fusible	DC 12 V : 15 A * 1 pza.
Peso neto	0.46 kg
Salida CA	Tipo norteamericano: 2 salidas de CA; Tipo europeo: 1 salida de CA
Dimensiones (LxAxAI)	180 x 73 x 73 mm

Fuente: Catálogo de productos CONERGY (www.conergy.com.mx)

Los inversores Linkchamp SP150 y SP400 conforman una excelente opción para aplicaciones de baja potencia como licuadoras y taladros pequeños, televisores, reproductores de videocintas y DVDs. Los inversores de la serie SP son eficientes (90 %) y confiables

Su forma de onda de salida es sinusoidal modificada en ancho de pulso que entrega la potencia de acuerdo a la demanda de las cargas y ahorra energía (bajo consumo > 0.3 A) cuando está en stand-by. Los inversores de la serie SP están equipados con alarmas de bajo voltaje, sobre temperatura y sobrecarga, además de estar protegidos contra inversión de polaridad

Figura 44. Inversor Linkchamp SP150



Fuente: Catálogo de productos CONERGY (www.conergy.com.mx)

Además, el tipo de inversor seleccionado debe poseer una potencia pico o en servicio intermitente, $P_{P,inv}$, capaz de suministrar los picos de sobre potencias transitorias que se presentan al conectar determinados tipos de receptores, especialmente los motores eléctricos.

Ambas potencias, P_{inv} y $P_{P,inv}$, se refieren a las potencias de salida, es decir, suministradas por el inversor a los receptores. Las correspondientes potencias de entrada esto es, absorbidas por el inversor (normalmente de las baterías) se obtienen de dividir las anteriores por su rendimiento, y permiten, por ejemplo, hallar la intensidad máxima del interruptor de acoplamiento entre las baterías y los receptores, $I_{Acu\ recep}$ en líneas de CA, y la intensidad máxima de la línea de alimentación del inversor

4.7 Conexión y transporte de la energía eléctrica

Dada las características específicas de las instalaciones fotovoltaicas, se destacan algunas consideraciones del dimensionado de los conductores especialmente importantes. De los diferentes subsistemas que constituyen un sistema fotovoltaico, merecen un tratamiento especial, en lo que al dimensionado de los conductores se refiere, el subsistema de captación fotovoltaica y las conexiones entre las baterías y los reguladores e inversores, ya que el resto de la instalación sigue las pautas normales de diseño de las instalaciones eléctricas convencionales.

En el subsistema de captación de energía (módulos fotovoltaicos), la intensidad de cortocircuito, $I_{SC,mod}$, de los módulos facilitada por los fabricantes, se ve incrementada al aumentar la irradiancia y la temperatura (la primera puede alcanzar, ocasionalmente, valores de $1,200 \text{ W/m}^2$ o incluso superiores, especialmente en momentos de alta irradiación solar y/o altas componentes de radiación reflejada adicional. Por todo ello, la intensidad máxima suministrada por los módulos debe estar sobredimensionada respecto a la intensidad de cortocircuito, se aconseja un sobredimensionamiento de 25 %.

En los subsistemas de captación fotovoltaica y las conexiones entre las baterías y los reguladores e inversores, debe prestarse especial atención a los valores de la máxima intensidad y tensión a que se verán sometidos los conductores. Por consiguiente, la intensidad máxima suministrada por los módulos fotovoltaicos es: $I_{Max, mod} = 1.25 * I_{SC,mod}$. Los conductores que transportan corriente eléctrica procedente directamente de los módulos fotovoltaicos deben admitir el paso de una intensidad como mínimo igual a: $I_{Conductor, mod} \geq 1.25 * I_{SC,mod}$ (caso general); para Estados Unidos $I_{Conductor, mod} \geq 1.25 * 1.25 * I_{SC,mod} = 1.56 * I_{SC,mod}$ (seguridad reforzada) [6, 245]

Para los sistemas diseñados los conductores que transportan corriente eléctrica procedente de los módulos al regulador, deben admitir el paso de una intensidad mínima igual a 4.99 A para el usuario tipo 1 y 9.97 A para el usuario tipo 2.

Por su parte, la tensión en circuito abierto $V_{OC,mod}$ de los módulos fotovoltaicos, aumenta al disminuir la temperatura, de manera que, en días fríos pero soleados, la tensión en circuito abierto puede superar ampliamente el valor facilitado por el fabricante.

Para tener en cuenta lo anterior, debe tomarse como tensión máxima de los módulos, la tensión en circuito abierto facilitada por el fabricante multiplicado por un factor, normalmente 1.25. En consecuencia, la tensión de aislamiento de los conductores debe escogerse considerando dicho factor.

En los sistemas diseñados, utilizando módulos de 65 Wp (KYOCERA), la tensión máxima de los módulos es de 27.12 V, para ambos sistemas; por lo que la tensión de aislamiento de los conductores debe seleccionarse tomando en consideración dicho valor.

Los cables utilizados para acoplar las baterías entre sí y con el resto de equipamiento deben soportar las condiciones corrosivas y húmedas del recinto en el que éstas estarán ubicadas. Además, no deben emplearse conductores de aluminio debido a que prestan problemas de corrosivos.

Debe prestarse especial atención en que los conductores conectados a las baterías soporten las posibles elevadas intensidades de cortocircuito (fácilmente de varios miles de amperios) que pueden presentarse, en función del tiempo de respuesta de las protecciones correspondientes.

Los conductores de la línea de conexión entre los acumuladores y el inversor se dimensionan para soportar la máxima intensidad que puede absorber el inversor sobredimensionada por un factor 1.25 para tener en cuenta los picos de intensidad transitoria que se presentan al conectar determinados tipos de receptores, especialmente los motores eléctricos (según el caso)

Circuitos eléctricos

a) Identificación: identificar y conocer las peculiaridades de los distintos circuitos eléctricos que forman el sistema fotovoltaico resulta algo muy conveniente, si no imprescindible. A continuación se describen los circuitos principales que se encuentran en un sistema fotovoltaico



Tabla XXIII. Características más usuales de los circuitos presentes en sistemas fotovoltaicos

	Campo FV-regulador	Regulador-baterías
Corriente	Continua	Continua
Límites	Terminales principales del campo FV (módulos) y terminales correspondientes en el regulador	Terminales principales de las baterías y terminales correspondientes en el regulador
Cableado	Cable bipolar bajo tubo (al aire o enterrado)	Dos cables unipolares al aire o bajo canaleta
Intensidad	Hasta 50 A (aprox.)	Hasta 50 A (aprox.)

Tensión	12 V	12 V
Caída de tensión	Máxima 3 % Recomendada 1.5 %	Recomendada 1.5%
	Baterías-inversor	Consumo en AC
Corriente	Continua	Alterna
Límites	Terminales principales de las baterías y terminales de entrada del inversor	Desde terminales de salida del inversor hasta elementos de consumo o toma de corriente CA
Cableado	Dos o más cables unipolares al aire o bajo canaleta	Cada línea: cable bipolar empotrado o bajo canaleta
Intensidad	Hasta 250 A (aprox.)	Total: hasta 15 A (aprox.)
Tensión	12 V	110 V
Caída de tensión	Recomendada 1.5 %	Cada línea: Recomendada: 3% iluminación; 3% equipos

Fuente: Referencia bibliográfica 3, pagina 37-3

- b) Protección: El cableado de un sistema fotovoltaico debe cumplir con el reglamento electrotécnico de baja tensión, en este caso se utiliza el reglamento español Real Decreto 842/2002.

También debe asegurarse de especificar cable para exterior, resistentes a la degradación por la acción de la luz solar. Considerar la opción de entubar los conductores.

En la región donde se instalarán los sistemas fotovoltaicos, la temperatura no supera los 30 °C, por lo que no es necesario considerar la corrección por temperatura, para el cableado.

Una vez identificados y caracterizados los circuitos eléctricos principales, se puede pasar a considerar los medios de desconexión y protección para cada uno de ellos.

Se usan interruptores y fusibles para proteger los equipos y al personal. Los interruptores permiten cortar manualmente el flujo de corriente en caso de emergencia. Los fusibles proporcionan protección contra sobre-corrientes en caso de cortocircuito del sistema o de fallo a tierra. En un sistema fotovoltaico es recomendable separar mediante fusibles e interruptores el generador fotovoltaico, el regulador de carga, la batería. Los interruptores AC no son aptos para operar en DC

- c) Cableado: Las conexiones bien hechas y seguras son esenciales si se desea que el sistema funcione correctamente de acuerdo con el dimensionado realizado y tenga una larga vida útil. La instalación de interruptores y fusibles es muy importante para el funcionamiento y mantenimiento seguro del sistema.

La correcta selección y calibre de los conductores aumenta el rendimiento y fiabilidad del sistema fotovoltaico. Dimensionar los conductores para que las caídas de tensión sean inferiores al 3% en cualquiera de los circuitos.

A diferencia de los sistemas de electrificación convencionales, los sistemas fotovoltaicos suelen instalarse en lugares donde dicha instalación no se ha provisto. Por tal motivo, lo habitual es realizar un tendido del cableado a la vista, sujeto a los muros y paredes existentes (grapadas, con bridas o bajo canaleta), o bien enterrado (bajo tubo) cuando no hay elementos de edificación que faciliten dicha sujeción.

El cableado del generador fotovoltaico, tanto de interconexión de los módulos como de conexión con el regulador, discurre generalmente (al menos en parte) a la intemperie. Por ello, debe adoptarse las medidas adecuadas para que este cableado resulte resistente contra los efectos de la humedad y la radiación ultravioleta (cable con aislamiento apropiado, cable bajo tubo, etc.)

Un aspecto fundamental del cableado de una instalación fotovoltaica es la identificación de la polaridad de cada conductor y del terminal al que se debe conectar

La técnica más común de identificación de la polaridad del cableado es la utilización de cables de distintos colores y el marcado de las terminaciones de los mismos con cinta de distinto color. A continuación se muestra el código de colores habitual en instalaciones fotovoltaicas:

Polaridad	Color
Positiva	Rojo o marrón
Negativa	Negro, azul o blanco

La canalización común de conductores pertenecientes a distintos circuitos puede dar lugar, si no se toman las medidas oportunas, a confusiones y equívocos de consecuencias graves, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de funcionamiento. El marcado correspondiente a la identificación de la polaridad y de los terminales se debe realizar antes de la canalización de los cables

Los cables con aislamientos y cubiertas de PVC, EPR y especiales para instalaciones fijas o móviles hasta 450/750 V se fabrican bajo las normas: UNE 21031, UNE 21160, UNE 21153, UNE 21027.

La norma UNE 21031 está en correspondencia con la norma CE-NELEC HD-21 en la que vienen fijadas las siglas de designación:

LETRA INICIAL H=conforme con las normas armonizadas europeas. A=cable de tipo nacional reconocido.

TENSION: 03= tensión nominal del cable 300/300 V; 05= tensión nominal del cable 300/500 V; 07= tensión nominal del cable 450/750 V.

MATERIALES DE AISLAMIENTO Y CUBIERTA: B: EPR (Etileno propileno) N: PCP (Neopreno); V: PVC (Policloruro de vinilo); X=XLPE (Polietileno reticulado)

FORMA DE CABLE: H: colocado al final de la designación. Cables planos cuyos conductores pueden separarse. H2: colocado al final de la designación. Cables planos cuyos conductores no pueden separarse.

CONDUCTOR: U= Conductor rígido, unipolar; R= conductor rígido, de varios alambres cableados; K= Conductor flexible, Clase 5, para instalación fija; F= Conductor flexible, Clase 5, para instalación móvil; H= Conductor flexible, Clase 6, para instalación móvil; separados de la designación por un guión

NUMERO DE CONDUCTORES: Signo X cuando no hay conductor amarillo/verde o letra G cuando hay conductor amarillo/verde. Sección de conductor en mm²

Para determinar la sección de los conductores, se utiliza la ecuación siguiente:

$$S = \frac{2LI}{\sigma(V_a - V_b)} \quad [25]$$

Donde:

L longitud del tramo

I corriente a circular

$V_a - V_b$: caída máxima de tensión

σ : Conductividad eléctrica del cobre a 90°C = 47.04 m / Ω *mm² ó 47.04 E+06 S/m (siemens por metro)

Para corriente alterna se debe incluir el factor de potencia f.d.p. ($\cos \phi$); de tal manera que la ecuación anterior es igual a:

$$S = \frac{2LI\cos\phi}{\sigma(V_a - V_b)} \quad [26]$$

Cálculo de la sección de los conductores para el sistema del usuario tipo 1

Para todas las líneas $V_a - V_b = 1.5\%$

A) Módulos-regulador

$V_{mod-acu} = 12 \text{ V}$

$L = 8 \text{ m}$

$I_{m\acute{a}x} = 4.99 \text{ A}$

$V_a - V_b = 0.015 * 12 \text{ V} = 0.18 \text{ V}$

De la ecuación [25], se obtiene:

$$S = \frac{2 * 8 \text{ m} * 4.99 \text{ A}}{47.04 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0.015 * 12 \text{ V})} = 9.43 \cong 9 \text{ ó } 10 \text{ mm}^2$$

B) Regulador-batería

$$V_{reg-acu} = 12 \text{ V}$$

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 4.99 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0.015 * 12 = 0.18 \text{ V}$$

De la ecuación [25], se obtiene:

$$S = \frac{2 * 2.5 \text{ m} * 4.99 \text{ A}}{47.04 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0.015 * 12 \text{ V})} = 2.95 \cong 3 \text{ mm}^2$$

C) Batería-inversor

$$V_{acu-inv} = 12 \text{ V}$$

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 6.62 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0.015 * 12 = 0.18 \text{ V}$$

De la ecuación [25], se obtiene:

$$S = \frac{2 * 2.5 \text{ m} * 6.62 \text{ A}}{47.04 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0.015 * 12 \text{ V})} = 3.91 \cong 4 \text{ mm}^2$$

D) Inversor a las líneas en corriente alterna (receptores)

d-1. Iluminación

$$V_{inv-rec} = 110 \text{ V}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$I_{\text{máx}} = 15 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0.015 * 110 = 1.65 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0.9$$

De la ecuación [26], se obtiene:

$$S = \frac{2 * 20 \text{ m} * 15 \text{ A} * 0.9}{47.04 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0.015 * 110 \text{ V})} = 6.96 \cong 7 \text{ mm}^2$$

d-2. Bases enchufe (interruptores)

$$V_{\text{inv-rec}} = 110 \text{ V}$$

$$L = 25 \text{ m}$$

$$I_{\text{máx}} = 15 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0.015 * 110 = 1.65 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0.9$$

De la ecuación [26], se obtiene:

$$S = \frac{2 * 25 \text{ m} * 15 \text{ A} * 0.9}{47.04 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0.015 * 110 \text{ V})} = 8.70 \cong 9 \text{ mm}^2$$

Nota: Se utilizaron las mismas ecuaciones en el dimensionamiento de la sección de los conductores (cableado) para el sistema del usuario tipo 2.

Tabla XXIV. Cableado del sistema fotovoltaico del usuario tipo 1

Cableado	Voltaje del sistema (V)	Máxima corriente (A)	Longitud (m)	Caídas de tensión permitidas (%)	Sección (mm²)
Módulo-regulador	12	4.99	8	1.5	9 ó 10
Regulador-batería	12	4.99	2.5	1.5	3
Batería-inversor	12	6.62	2.5	1.5	4
<i>Circuito en AC</i>					
A. Iluminación	110	15	20	1.5	7
B. Bases enchufe	110	15	25	1.5	9

Tabla XXV. Cableado del sistema fotovoltaico del usuario tipo 2

Cableado	Voltaje del sistema (V)	Máxima corriente (A)	Longitud (m)	Caídas de tensión permitidas (%)	Sección (mm²)
Módulo-módulo	12	3.99	0.25	0≅0.1	4
Generador-regulador	12	9.97	8	1.5	19 ó 20
Regulador-batería	12	9.97	2.5	1.5	6
Batería-inversor	12	14.77	2.5	1.5	9
<i>Circuito en AC</i>					
A. Iluminación	110	15	20	1.5	7
B. Bases enchufe	110	15	25	1.5	9

Para poder unificar el uso del tamaño de cableado, para la línea del módulo-regulador se utilizará cable de 10 mm², para las líneas del regulador-batería y batería-inversor de 4 mm², para las líneas en corriente alterna de iluminación y bases de enchufe 10 mm²

De igual forma que con el usuario tipo 1, se unificó el uso del tamaño de cableado, para la línea de módulo-módulo, cable de 4 mm², línea del módulo-regulador se utilizará cable de 20 mm², para las líneas del regulador-batería 6 mm² y batería-inversor de 10 mm², para las líneas en corriente alterna de iluminación y bases de enchufe 10 mm²

Tabla XXVI. Sección y tipo de cable para las diferentes líneas del sistema fotovoltaico usuario tipo 1

Cableado	Sección mm²	Tipo de cable
Módulo-regulador	9 ó 10	A03VV-F
Regulador-batería	3	A03VV-F
Batería-inversor	4	A03VV-F
<i>Circuito en AC</i>		
A. Iluminación	7	A03VV
B. Bases enchufe	9	A03VV

Tabla XXVII. Sección y tipo de cable para las diferentes líneas del sistema fotovoltaico usuario tipo 2

Cableado	Sección mm²	Tipo de cable
Módulo-módulo	4	A03VV-F
Módulo-regulador	19 ó 20	A03VV-F
Regulador-batería	6	A03VV-F
Batería-inversor	9	A03VV-F
<i>Circuito en AC</i>		
A. Iluminación	7	A03VV
B. Bases enchufe	9	A03VV

Figura 45. Ejemplos del montaje de un sistema fotovoltaico aislado rural



a.

b.



En la figura 45a. se observar a los habitantes de una comunidad colaborando en la construcción de la estructura soporte del módulo, a la izquierda se encuentra una pequeña caseta para albergar las baterías

En esta figura 45b. se observa la ubicación y colocación del cableado, utilizando distinto color para diferenciar su polaridad, la sujeción de los cables a la pared esta realizada correctamente, evitando así, confusiones y accidentes.

4.8 Presupuesto

A continuación se presenta el presupuesto de los equipos para la construcción de los sistemas fotovoltaicos diseñados, los costos están en dólares USA\$

4.8.1 Sistema usuario tipo 1

Tabla XXVIII. Presupuesto para el sistema fotovoltaico usuario Tipo 1

Equipo	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Módulo fotovoltaico KYOCERA KC65T-1	437.00	1	437.00
Batería monoblock 12 V, C10 200 Ah, C100 240 Ah	345.00	1	345.00
Regulador Morningstar SHS-6	39.10	1	39.10
Inversor Linkchamp SP150	26.45	1	26.45
Cableado	Por metro	metros	
Módulo-regulador de 10 mm ²	1.51	8	12.08
Regulador-batería de 4 mm ²	0.75	2.5	1.87
Batería-inversor de 4 mm ²	0.75	2.5	1.87

Iluminación en AC de 10 mm ²	1.51	20	30.20
Enchufes en AC de 10 mm ²	1.51	25	37.75
Montaje			
Mano de obra y estructura soporte	100.00	1	100.00
Total			1030.32

Fuente: Catálogo de precios de los diferentes equipos, Anexo A.1

4.8.2 Sistema usuario tipo 2

Tabla XXIX. Presupuesto para el sistema fotovoltaico usuario Tipo 2

Equipo	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Módulo fotovoltaico KYOCERA KC65T-1	437.00	2	874.00
Batería monoblock 12 V, C10 200Ah, C100 240 Ah	345.00	2	690.00
Regulador Morningstar SHS-10	51.75	1	51.75
Inversor Linkchamp SP150	26.45	1	26.45
Cableado	Por metro	metro	
Módulo-módulo de 4 mm ²	0.75	0.25	0.19
Paneles-regulador de 20 mm ²	3.36	8	26.88
Regulador-batería de 6 mm ²	0.92	2.5	2.30
Batería-inversor de 10 mm ²	1.51	2.5	3.77
Iluminación en AC de 10 mm ²	1.51	20	30.20
Enchufes en AC de 10 mm ²	1.51	25	37.75
Montaje			
Mano de obra y estructura soporte	100.00	1	100.00
Total			1843.29

Fuente: Catálogo de precios de los diferentes equipos, Anexo A.1

Algunos de los equipos y accesorios presentaban sus costos en euros, en los catálogos, por lo que se realizó la conversión a dólares con una tasa de cambio de \$1.48 = 1 euro.

El presupuesto se realizó para cada sistema individual únicamente, no se realizó presupuesto para la totalidad de los sistemas a instalar, debido a que el número de viviendas es de 36, sin embargo no se cuantificaron las viviendas que van a utilizar el sistema usuario tipo 1 y el sistema usuario tipo 2.

4.9 Seguridad industrial en la construcción de los equipos

4.9.1 Seguridad en la construcción

La seguridad es otro aspecto que debes ser considerado convenientemente durante la fase de diseño de la instalación fotovoltaica, tanto desde el punto de vista material, como personal. Un buen diseño en materia de seguridad debe partir de la máxima de que la instalación fotovoltaica debe ser segura durante su montaje, funcionamiento y su utilización.

4.9.1.1 Seguridad durante el montaje

El propósito de la seguridad durante el montaje de una instalación fotovoltaica es doble:

- Evitar cualquier deterioro o daño material de los elementos que forman parte de la instalación

- Evitar cualquier daño personal propio o ajeno (dentro del alcance de la instalación)

4.9.1.2 Seguridad durante el transporte

El transporte del material a pie de obra debe realizarse de modo que éste no sufra ningún daño. En este sentido, conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones:

- Mantener todo el material en sus cajas y embalajes originales
- Respetar, cuando existan, las indicaciones de colocación dispuestas por el fabricante

OJO: Las baterías llenas de electrolito líquido deben colocarse siempre en posición vertical

- Si es necesario apilar material, prestar especial atención a su fragilidad (peso que pueden soportar). En este sentido, los módulos fotovoltaicos son los elementos más frágiles
- Amarrar o colocar el material de modo que este no pueda desplazarse (por efecto del movimiento del vehículo de transporte) y golpearse entre sí o contra el propio vehículo. Especial atención al transporte por vías en mal estado (algo habitual en el caso de instalaciones fotovoltaicas aisladas y remotas)

OJO: los movimientos bruscos debidos a la inercia del vehículo, o a lo accidentado del terreno, pueden provocar el derrame del electrolito líquido de las baterías

El almacenamiento temporal (previo al montaje) del materia a pie de obra debe realizarse de modo que éste no sufra ningún daño. En este sentido, conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones

- Tener el material al alcance de la vista o almacenarlo en un lugar seguro (de acceso restringido) para evitar hurtos y manipulaciones indebidas (por curiosidad) que puedan ocasionar golpes o caídas.
- No exponer el material a condiciones climáticas adversas

OJO: No se debe exponer a la intemperie aquellos elementos que no tengan el grado de protección IP adecuado. No exponer las baterías de forma prolongada a la radiación directa del Sol

El manejo del material debe realizarse de modo que éste no sufra ningún daño. En este sentido, conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones:

- Emplear las personas y los medios mecánicos necesarios

OJO: los módulos fotovoltaicos son elementos especialmente frágiles. Se deben evitar los golpes, las caídas y el apoyo de la cubierta sobre una superficie que pueda provocar el deterioro de la primera (piedra, cemento, baldosa, metal, etc.)

Los acumuladores eléctricos son bastante robustos pero pueden tener un peso considerable, de modo que una caída (incluso a la altura del suelo) puede provocar, en el peor de los casos, el deterioro de las placas y la inutilización del acumulador. No se deben sujetar los acumuladores eléctricos por los bornes.

- Realizar el montaje de forma lógica y ordenada

4.9.1.3 Seguridad personal

En ocasiones, el montaje de una instalación fotovoltaica implica la exposición del personal (constructores) a condiciones ambientales y de trabajo que pueden provocar situaciones de peligro. En este sentido, conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones:

El trabajo en condiciones de fuerte soleamiento directo debe interrumpirse periódicamente para evitar efectos fisiológicos perjudiciales (fatiga, deshidratación, desmayos, etc.) que pudieran provocar accidentes por falta de atención o caídas. En condiciones, el operario debe beber agua (moderadamente) y descansar fuera del alcance de los rayos del Sol.

Los acumuladores eléctricos pueden tener un peso considerable, de modo que, en estos casos, su transporte y colocación manual no es en absoluto recomendable (los esfuerzos realizados pueden provocar tensiones personales) La exposición de las células de un módulo fotovoltaico a la luz (incluso artificial) provoca la aparición de tensión en sus terminales. Para evitarlo se puede apoyar el módulo boca abajo (sobre una superficie adecuada) o cubrir completamente la superficie de captación con algún elemento opaco, como un cartón o una manta (no utilizar plásticos para esta función)

En las operaciones de cableado de los circuitos de las baterías, el riesgo eléctrico se debe principalmente a la elevada intensidad de corriente (miles de amperios) que pueden generar los acumuladores eléctricos de media o gran capacidad (incluso los de 2 V) en situación de cortocircuito. También es muy recomendable no llevar objetos personales metálicos (relojes, cadenas, etc.) durante la manipulación de los acumuladores.

Respecto a la seguridad del personal ajeno a la instalación durante el montaje de la misma, se debe delimitar, advertir y señalar convenientemente la zona de peligro por riesgo de caídas de material. Se deben adoptar las medidas de seguridad necesarias para que en las vías de paso habituales no exista dicho peligro (redes, cubiertas de obra, aviso a los operarios, etc.)

El propósito de la seguridad durante el funcionamiento y la utilización de la instalación fotovoltaica es evitar cualquier daño material y personal provocado por situaciones excepciones, o en sí peligrosas, que puedan aparecer una vez entregada y puesta en marcha la instalación.

Dentro de la seguridad en la construcción se mencionan los elementos de desconexión, ya que tienen como función, aislar eléctricamente, de forma manual e intencionada, los distintos circuitos presentes en el sistema fotovoltaico (para tareas de mediciones, reparaciones, etc.)

Es recomendable el uso de elementos de desconexión que aislen todas las ramas del circuito (positivo y negativo, fases y neutro)

4.9.2 Puesta a tierra

Es uno de los aspectos eléctricos de la instalación fotovoltaica que debe ser analizada con interés especial

La puesta a tierra de protección consiste en la unión eléctrica de las distintas masas metálicas y de éstas con tierra.

Protección contra tormentas: evitar las diferencias de potencial entre las distintas masas metálicas y entre éstas y tierra, debidas a una posible acumulación de carga electrostática de origen atmosférico. Estas diferencias de potencial podrían provocar la aparición de chispas (descarga electrostática) y originar un incendio o explosión (en la sala de baterías). Por otro lado, sirve también como vía de derivación a tierra de las corrientes de rayo.

La puesta a tierra de protección del generador fotovoltaico abarca tanto el marco metálico de los módulos como a la estructura.

El mero anclaje de los módulos a la estructura no se considera una puesta a tierra eficaz de los mismos, debido a que el tratamiento superficial de ambos elementos dificulta una conexión eléctrica fiable.

La mera cimentación de la estructura no se considera una puesta a tierra eficaz de la misma. Se debe siempre unir eléctricamente la estructura a tierra mediante un conductor desnudo y un electrodo.

Cuando la distancia entre el generador fotovoltaico y el resto de la instalación no es considerable, la puesta a tierra de protección del campo fotovoltaico puede servir como puesta a tierra de protección de todo el sistema.

4.10 Breves instrucciones para el uso de un sistema solar fotovoltaico

A continuación se describe la información necesaria y suficiente para la conservación y utilización correcta y segura de la instalación fotovoltaica por parte del usuario.

Respecto a la utilización, es conveniente informar al usuario acerca de las prestaciones y limitaciones de la instalación fotovoltaica, debido a que la misma ha sido diseñada para proporcionar un servicio eléctrico determinado y de acuerdo a criterios de utilización previamente determinados.

El usuario debe conocer bien su instalación y debe tener el conocimiento y las herramientas necesarias para poder realizar un diagnóstico general de la misma, con el fin de detectar anomalías que puedan afectar a la prestación y disponibilidad del servicio y, en última instancia, a la durabilidad de la instalación fotovoltaica.

Generalmente, el mantenimiento a cargo del usuario es de tipo preventivo (ocasional o programado) y abarca todas aquellas comprobaciones y verificaciones que, ya sea por su sencillez o por su periodicidad, no justifican en modo alguno la intervención del técnico. La finalidad de estas tareas de mantenimiento es:

Mantener la instalación (en la medida de lo posible) en un estado óptimo de conservación y funcionamiento similar al correspondiente a la puesta en marcha de la instalación.

Detectar a tiempo posibles anomalías o defectos que influyan negativamente en el rendimiento general de la instalación fotovoltaica y en su prestación de servicio.

Operación de Mantenimiento 01

Inspección general del estado del campo fotovoltaico

Periodicidad: ocasional y ante condiciones ambientales especialmente adversas (de viento, lluvia o sol)

Descripción:

- Evitar el sombreado no previsto de los módulos fotovoltaicos debido a variaciones en la vegetación circundante o a la colocación de objetos próximos a los módulos. Este sombreado puede disminuir considerablemente la producción de energía eléctrica y, por tanto, las prestaciones de la instalación fotovoltaicas.
- Evitar la acumulación prolongada y permanente de objetos y depósitos de suciedad en la superficie de los módulos (especialmente los procedentes de las aves o de arboles). Sus efectos son análogos a los del sombreado
- Cuando sea necesario, la limpieza de los módulos se debe realizar de forma manual, utilizando agua y productos no abrasivos, no emplear estropajos que puedan rayar la superficie de los módulos
- No abrir las cajas de conexiones de los módulos, ni manipular el interior de las cajas o armarios de conexiones.

Operación de Mantenimiento 02

Inspección general del estado de los acumuladores eléctricos

Periodicidad: ocasional

Descripción:

- Mantener el lugar donde se colocaron las baterías en las mismas condiciones que en la puesta en marcha de la instalación, evitando el almacenamiento descontrolado de objetos
- No manipular las conexiones de los acumuladores
- Comprobar que el nivel del electrolito (en los acumuladores de electrolito líquido) se mantiene entre los niveles mínimo y máximo. Los acumuladores de uso fotovoltaico suelen tener una reserva considerable de electrolito, de modo que la reposición del nivel puede efectuarse durante la visita programada de un técnico.
- Debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de 'Máximo' y 'Mínimo'. Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada. No debe rellenarse nunca con ácido sulfúrico.

- Si es necesario reponer el nivel del electrolito, utilizar únicamente agua destiladas o desmineralizada, no sobrepasar el nivel máximo, evitar salpicaduras y derrame de electrolito, evitar la penetración de impurezas en el interior de las celdas, utilizar un embudo de plástico o cristal (no metálico) y llevar guantes y gafas protectoras
- Los terminales de la batería deben limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.
- Si se dispone de un densímetro se mide la densidad del electrolito. Con el acumulador totalmente cargado, debe ser de 1,240 +/- 0,01 a 20 grados Celsius. Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de posible avería.
- Para comprobar el estado de carga de las baterías, se observan las señalizaciones e indicaciones del regulador de carga u otros aparatos de monitorización, que el estado de carga de las baterías es el previsto
- Bajo ningún concepto, no es admisible el disponer en paralelo o en serie acumuladores o baterías de distinto modelo, capacidad o tiempo de uso (unión de baterías nuevas con antiguas y/o usadas, etc.), ya que esto provocaría pasos internos de corriente entre un elemento y otro, dando lugar al deterioro de las baterías más nuevas.

Operación de Mantenimiento 03

Inspección general del estado de los aparatos

Periodicidad: ocasional

Descripción:

Comprobar que los estados de conservación, limpieza y sujeción del regulador, inversor y demás aparatos eléctricos presentes en la instalación FV, se mantienen en condiciones similares a las de la pausa en marcha de la instalación. Cuando sea necesario, eliminarlos restos de polvo y suciedad con un paño humedecido en agua o limpiador multiusos.

Ante cualquier indicio de degradación o alteración en el estado de conservación de los aparatos (desgaste, quemaduras, golpes, etc.), comprobar si el funcionamiento de los mismos se ha visto afectado.

Seguir los procedimientos de comprobación rutinaria del funcionamiento de los aparatos, facilitados por el fabricante (en los manuales de operación de los aparatos) o por el instalador. En cualquier caso, comprobar:

- Indicaciones correctas de estado de funcionamiento y de monitorización
- Ausencia de fallos, alarmas, zumbidos extraños, calentamientos, etc.

CONCLUSIONES

1. En Guatemala, las fuentes de energía renovable ya son utilizadas para generar electricidad, como son las plantas hidroeléctricas; sin embargo, la energía solar fotovoltaica se está utilizando especialmente en el área rural del país.
2. La distribución de las viviendas dentro de la comunidad impidió que se diseñara un sistema centralizado aislado de energía solar fotovoltaica; el transporte de la energía eléctrica provoca caídas de tensión en el cableado, aumentando proporcionalmente con la longitud (distancia) entre la generación eléctrica y el consumo.
3. Según los datos de irradiación solar o irradiancia, en Guatemala, la energía solar con tecnología fotovoltaica, es factible utilizarla para generar energía eléctrica conectada a la red, sólo si, se norma o regula la generación de energía eléctrica con fuentes renovables.
4. Se diseñaron dos tipos de sistemas, cada uno es individual, serán instalados en cada vivienda de la comunidad Buena Vista, dependiendo de las condiciones económicas de las personas
5. Según el diseño de los sistemas fotovoltaicos, estos están capacitados para cubrir las necesidades principales de las familias en la comunidad Buena Vista, iluminación y/o entretenimiento; además, pueden ampliarse de tamaño, según las necesidades energéticas de los consumidores, gracias a la versatilidad de la tecnología fotovoltaica

6. La determinación del consumo eléctrico real permitió que los sistemas diseñados integraran en sus cálculos las posibles pérdidas de energía en el cableado, baterías, inversor, módulos fotovoltaicos; evitando así la subestimación de los sistemas.
7. El sistema fotovoltaico del usuario tipo 1 tiene una capacidad de acumulación menor al sistema fotovoltaico del usuario tipo 2, debido a que, este último genera mayor energía, por lo que se utilizarán 2 baterías de 12 Voltios, con capacidad de 200 Ah C10, cada una, mientras que el primero utilizará 1 batería
8. Los costos de los equipos y cableado se presentan en moneda extranjera (dólar) debido a que es la moneda con mayor circulación después de la moneda nacional quetzal.
9. Indudablemente, el subsistema de acumulación es imprescindible en un sistema aislado, ya que con la presencia de baterías se hará frente a los requerimientos energéticos cuando la radiación sea mínima o nula.
10. Es importante no sobredimensionar ninguno de los subsistemas, especialmente el subsistema de acumulación, de existir un sobredimensionamiento de éste, es posible que el subsistema de captación no genere suficiente energía para cargar las baterías, acortando con esto la vida de las baterías.

RECOMENDACIONES

1. Para la obtención de datos de radiación solar específicamente, es necesario que en Guatemala se realice una base de datos, que incluya información sobre radiación por regiones o departamentos, según distintos ángulos de inclinación.
2. Dentro de los estudios en las distintas ramas de ingeniería, deben incluirse contenidos sobre el uso de fuentes renovables para la generación de energía, ya que la problemática mundial en torno a los recursos no renovables y los fenómenos naturales, involucra también a nuestro país.
3. Como entidad educativa, la Facultad de Ingeniería, debe impulsar la ejecución de proyectos que beneficien a las personas de escasos recursos, especialmente en materia de acceso de energía eléctrica, agua, etc., utilizando fuentes de energía renovable
4. La creación de laboratorios en los que se experimente el funcionamiento de mini-proyectos o proyectos piloto en cuestión de energías renovables (solar fotovoltaica, eólica, biomasa, etc.)
5. Realizar programas de capacitación tanto para estudiantes como para técnicos en el ramo de construcción, montaje y mantenimiento de sistemas de energía solar fotovoltaica.
6. Obtener fuentes de consulta y bibliográficas (revistas, libros, *software*, revistas electrónicas, etc.), para la ampliación de conocimientos en materia de energías renovables.

BIBLIOGRAFÍA

Referencia Bibliográfica

1. Alcor Cabrerizo, Enrique. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. 3a. edición. España: Editorial: PROGENSA, Promotora general de estudios, S.A. 2002. 271 pp
2. Alonso Abella, Miguel. Sistemas Fotovoltaicos, introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. 2a. edición. España: Editorial S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L. 2005. 619 pp
3. Asociación de la industria fotovoltaica, colectivo. Sistemas de Energía Fotovoltaica, Manual del instalador. España: PROGENSA. 2002. 197 pp
4. Escudero López, José M. Manual de energía eólica. Colección energías renovable. España: Ediciones Mundi-Prensa. 2003. 471 pp
5. Gipe, Paul. Energía Eólica Práctica. 1ª. Edición en español de la versión en inglés Wind energy basics. España: Editorial PROGENSA, Promotora General de Estudios, S.A. 2000. 191 pp
6. Ibáñez Plana M, J.R. Rosell Polo y J.J. Rosell Urrutia. Tecnología Solar, colección energías renovables. España: Editorial Grupo Mundi-prensa MP. 2004. 544 pp
7. Mosquero Martínez, Pepa y Luis Merino Ruesga. Empresa y Energías Renovables. España: Editorial Fundación Confemetal FC. 2005
8. Ortega Rodríguez, Mario. Energías Renovables. España: Editorial PARANINFO Thompson Learning. 2002. 328 pp
9. Patel Mukund R. Wind and Solar Power Systems, Design, analysis and operation. 2a. edición. USA: Taylor and Francis Group. 2006. 448 pp

10. Revista Técnica ERA SOLAR. Fototérmica & fotovoltaica. Publicaciones técnicas, S.L. edición 140, septiembre-octubre 2007, año XXV.

Referencias electrónicas

11. Arriaza, Hugo. Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala. Documento electrónico en formato PDF. Abril 2005. (05/12/07), disponible en:
http://www.olade.org.ec/documentos/Diagnostico_Energia_Rural_Guatemala.pdf

12. Biomasa. Artículo electrónico (14-11-07, 22:30) disponible en:
www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/biomasa.htm - 10k

13. Biomasa. Artículo electrónico de Wikipedia, la enciclopedia libre, actualizada el 13-11-07, 17:30, (14-11-07, 22:00), disponible en:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>

14. Blanco Silva, Fernando. Energía hidroeléctrica. Artículo electrónico de El rincón de la ciencia No. 24, diciembre 2003 (14-11-07, 12:00), disponible en:
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/Rc-63/Rc-63b.htm> -8k-

15. Centrales eólicas. Artículo electrónico sobre Centrales eólicas (15-11-07, 19:00 hrs), disponible en:
<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi98/Energia-Vs-Ambiente/eolica.htm>

16. Energía eólica. Artículo electrónico sobre Energía eólica, fuentes energéticas procedentes del viento; aprovechamiento eólico; máquinas eólicas; instalaciones y aplicaciones; situación en España. Rincón del Vago (15-11-07, 20:20), disponible en:
<http://html.rincondelvago.com/energia-eolica.html> -36k-

17. Energía geotérmica. Artículo electrónico de Wikipedia, la enciclopedia libre, actualizada el 02-11-07, 15:30 hrs. (14-11-07, 21:15), disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_geotérmica - 40k -

18. Energía geotérmica. Boletín electrónico de Panorama energético. Revisado el 08-09-07 (14-11-07. 21:45), disponible en:
http://www.panoramaenergetico.com/energia_geotermica.htm
19. Energía hidroeléctrica. Artículo electrónico sobre Información acerca de empresas y productos alemanes del sector de las energías renovables, Renewables made in Germany. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) German Energy Agency, 2007 (14-11-07, 13:20), disponible en:
<http://www.renewables-made-in-germany.com/es/energia-hidroelectrica/>
20. Energía limpia para Baja California Sur: una opción ecológica. Entrevista al Ministro. Jesús Druk González, secretario de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Baja California Sur. Artículo electrónico en formato PDF. (20/10/2007), disponible en:
<http://www.iie.org.mx/rese00/rese2.pdf>
21. Energía renovable en Guatemala, un mercado atractivo. Artículo electrónico en formato PDF del Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. Guatemala 2,007 (06/10/07), disponible en:
www.mem.gob.gt/Portal/Documents/ImgLinks/2007-06/350/Guia%20del%20Inversionista.pdf
22. Fernández Muerza, Alex. Sistemas mixtos de energía eólica y solar. Boletín de CONSUMER.es EROSKI.mht. 7 de mayo de 2007. (20-10-07, 9:12 hrs.), disponible en:
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2007/05/07/162343.php.
23. Programa de pequeñas donaciones del FMAM ejecutado por PNUD. Artículo electrónico en formato PDF, listado de los proyectos financiados 2000 al 2002. (19/11/07), disponible en:
www.ppdguatemala.org/pdfdocs/Proyectos%202000-%202001-%202002.pdf
24. Real Decreto 1663/2000. Artículo electrónico del decreto 1663./2000, del 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, documento de Censolar (Centro de estudios de la Energía Solar) (19/12/2007), disponible en:
www.fotovoltaica.com/bo300900.htm - 34k

25. Reinhold Schmidt, Anibal Díaz. Experiencias en proyectos de electrificación rural, mediante sistemas fotovoltaicos y sistemas híbridos solares-eólicos. Artículo electrónico, documento en PDF(20/10/07), disponible en:
www.cne.cl/seminario/pdf/reynold_schmith.pdf -
26. Rierra Lilliam. Cuba estrena su primer sistema híbrido de electrificación. Artículo electrónico de Granma Internacional, Rebelión ecológica. 22 de abril de 2003. (20/10/07, 10:12 hr), disponible en:
www.rebellion.org/ecologia/030422granma.htm - 5k
27. Román Medina, Eduardo. La energía solar térmica aplicada a la producción de electricidad. Artículo Revista electrónica Vigilancia Tecnológica. Robotiker, tecnalía. (13-11-07, 21:30 hrs), disponible en:
<http://revista.robotiker.com/revista/articulo.do;jsessionid=355010251DB982F2EAFD69C107E4C42C?method=detalle&id=58>
28. Santamarta José. Las energías renovables son el futuro. Boletín electrónico de Noticias América Latina, Ambiental.net. 12 de noviembre de 2004. (17-11-07, 14:00), disponible en:
http://www.alastor_ingenieria.cubaindustria.cu/Boletines/02-2005/web/articulos/Las%20energias%20renovables%20son%20el%20futuro.pdf
29. Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad. Documento de PDF/Adobe del Departamento de Energía, EE.UU por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable. Septiembre 2007 (26-11-07), disponible
www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf
30. Sistemas mixtos de energía eólica y solar. Artículo electrónico en formato Microsoft Word. (26/10/2007, 8:04 hrs.), disponible en:
www.lageneraciondelsol.com/documentos/afondo/852007100541_sistemas_hibridos.doc
31. Sogari Noemí. Diseño de un sistema híbrido solar-eólico por la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina. Artículo electrónico en formato PDF, realizado por: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. (20/10/07, 10:39 hr), disponible en:

<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-028.pdf>

32. Urbáez Méndez, Carlos Luis, Leila C. Abreu, Yasiel A. Crespo y Francisco Márquez M. Biomasa: alternativa sustentable para la producción de biogás. Publicación de trabajo electrónico de la Universidad de Pinar del Río, Facultad de Forestal y Agronomía, depto. de Química, Cuba (15-11-07, 18:30), disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa.shtml>.
33. Viento e sole. Fundación Rigoberta Menchu Tum. Guatemala 11 de marzo de 2,003. (18/11/07), disponible en:
<http://www.capitanoultimo.it/d/chimelesito2.htm>

Bibliografía consultada

34. Antony Falk, Chirstian Dürschner y Karl-Heinz Remmers. Fotovoltáica para profesionales. Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltáicas. Sevilla, España. Editorial: Solarpraxis, Censolar. PROGENSA. 2006. 334 p
35. Biomass Users Network (BUN-CA). Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). San José, Costa Rica. Septiembre de 2002, 48 p, disponible en:
www.bun-ca.org/publicaciones/EOLICA.pdf
36. Biomass Users Network (BUN-CA). Manuales sobre energía renovable: Solar fotovoltáica/Biomass Users Network (BUN-CA). San José, Costa Rica. Septiembre de 2002. 42 p, disponible en:
<http://www.bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>.
37. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e hidrología, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Guatemala, CA, consultar en:
<http://www.insivumeh.gob.gt>
38. Lorenzo, E., R. Zilles y E. Caamaño-Marín. Cuaderno de campo de electrificación rural fotovoltáica. España. Editorial: PROGENSA. 2001. 82 p

39. Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto. Reglamento electrotécnico de baja tensión. Ministerio de Ciencia y Tecnología de España. Documento electrónico (15/12/07), disponible en:
http://www.coitiab.es/reglamentos/electricidad/reglamentos/RD_842.htm

ANEXOS

A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

A.1 Sitios <i>web</i> recomendados.231
A.2 Consultores y suplidores de equipo en América Central.231

B. ESQUEMAS UNIFILARES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS

DISEÑADOS.	235
B.1 Esquema unifilar del sistema del usuario tipo 1.237
B.2 Esquema unifilar del sistema del usuario tipo 2.239

A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

A.1 Sitios web recomendados

www.sharppusa.com

www.bp.com/modularhome.do

www.schottsolar.com

www.kyocerasolar.com

www.conergy.com.mx

www.morningstarcorp.com/products/-spanish/SHS/info/SHS_DataSheet.pdf

www.technosun.com/es

www.solartronic.com.mx (para la consulta de precios de los equipos: módulos fotovoltaicos, regulador e inversor)

www.garbitek.com/pdf/A08.Cables_y_Multi-Contact.pdf (para la consulta de precios del cableado)

http://www.teknosolar.com/product_info.php?products_id=137&osCsid=d2421f48ec320cfad212488bcca85670 (consulta del precio de la batería)

A.2 Consultores y suplidores de equipo en América Central

BELICE:

Kelosha Corporation

P.O. Box 165

Dangriga

Tel.: (501) 5-12050

E-mail: mamanoots@btl.net

GUATEMALA:

LUEX

3ª. Av. 13-33 zona 1

Ciudad de Guatemala

Tel.: (502) 232-2603

Fax: (502) 232-8518

DINTERSA

5ª Avenida 1-71, zona 9, local 4
CP 01009 Ciudad de Guatemala
Tel.: (502) 332-3807, 332-3918
Fax: (502) 332-3918
E-mail: dintersa@microq.com.gt

SERGUAT

Sergio Barrios
21ª. Avenida 31-75, zona 5.
Ciudad de Guatemala, C.A.
Tel.: (502) 23859248; 23356133
e-mail: serguat@guate.net.gt

DEPRO

BIMEX Solar
Energía Solar Avanzada
SOLARTECH-SADEESA

EL SALVADOR:

TECNOSOLAR

Colonia Centroamérica, Calle San Salvador 417
San Salvador
Tel./fax: (503) 260-2448, 261-1184
E-mail: tecnosolar@navegante.com.sv

SERVICIOS SOLAR

Alameda Dr. Manuel Enrique Araujo
Km. 5, Calle a Santa Tecla
Plantel COGESA, San Salvador
PBX: (503) 298-2706; Fax: (503) 279-4911

HONDURAS:

RELECTOR

Plaza Gral. San Martín # 346
Colonia Palmira, Tegucigalpa
Tel.: (504) 232- 4062
Fax: (504) 232- 4111

SOLARIS

Col. Palmira.
Av. Rep. de Chile # 218,
Tegucigalpa 2351

Tel.: (504) 239-1028; Fax: (504) 232- 8213
E-mail: solaris@interdata.hn

NICARAGUA:

ECAMI
Altos de Santo Domingo
Las Sierritas, Managua
Tel.: (505) 276-0925
Fax: (505) 276-0240
E-mail: ecami@ibw.com.ni

TECNOSOL
Rotonda Bello Horizonte, 150 m arriba
Casa L – I 20, Managua
Telefax: (505) 244-2205
E-mail: tecnosol@munditel.com.ni

TECSOL
Managua
Telefax: (505) 278-0940
E-mail: tecsolsa@tmx.com.ni

Bombas de Mecate/ Aerobombas (AMEC)
Luis Román
Tel.: (505) 227-6935
E-mail: amec@alianza.com.ni

COSTA RICA:

NORDTECO S.A.
Nórdica de Tecnología y Comercio
Representación de VESTAS
Apartado 631-1007
Centro Colón, San José
Tel: (506) 290- 8605, 231- 3628
Fax: (506) 232 –8546

GJiménezS, consultores en energía
Apartado 220 – 2010, San José
Tel.: (506) 385 – 2365
Fax: (506) 232 – 8546
E-mail: jimenezs@sol.racsa.co.cr

INTERDINÁMICA

Barrio Aranjuez, San José

Tel.: (506) 221-8333

Fax: (506) 222-5241

E-mail: interdin@interdinamic.com

Web: <http://www.interdinamic.com>

ENERCOS

Tel.: (506) 386 6559

Fax: (506) 260 3641

E-mail: solelect@racsa.co.cr

Energía Centroamérica S.A.

Apartado 799-1007

San José

Tel: (506) 232 02 27

Fax: (506) 222 51 73

Durman Esquivel

Tel.: (506) 212 5800

Fax: (506) 256 7176

E-mail: lalvarez@grundfos.com

PANAMÁ:

SOLARPAN

Mall - P.O. Box 6-9569, El Dorado

507 Ciudad de Panamá Av. Balboa

Tel.: 507- 213-8060

Fax : 507- 213-8062

PASS

Calle Ramón Arias, edificio Malina, planta baja

Ciudad de Panamá

Tel.: (507) 263-8797/8635; Fax: (507) 263-8797

E-mail: pass@bellsouth.net.pa

Web: <http://www.panelsolar.com>

SOL ENERGY AS

Apartado 0819-11880, El Dorado

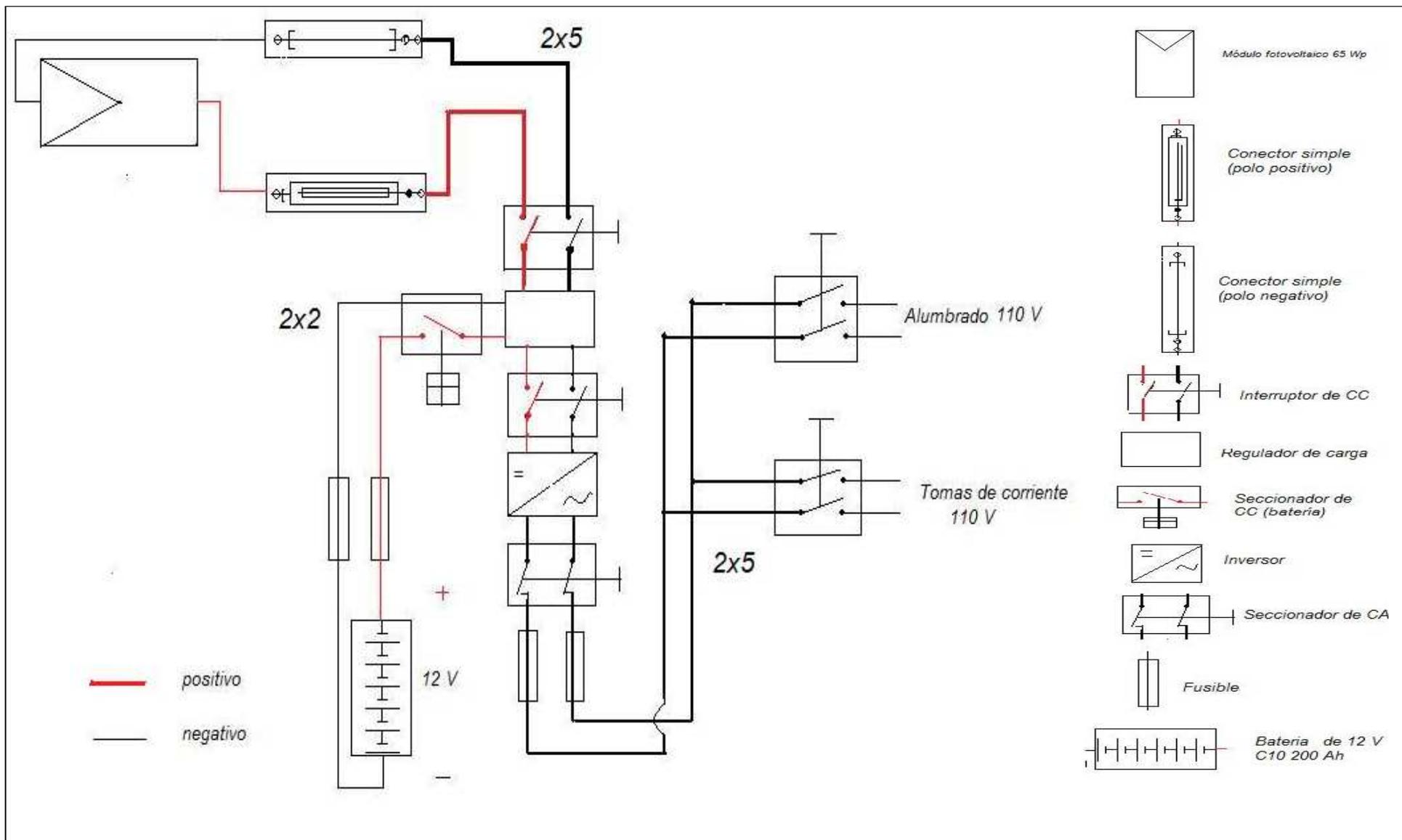
Ciudad de Panamá

Tel/fax: (507) 317-0732

E-mail: heine.aven@solenergy.com

Web: www.solenergy.com

B. ESQUEMAS UNIFILARES



Autor:

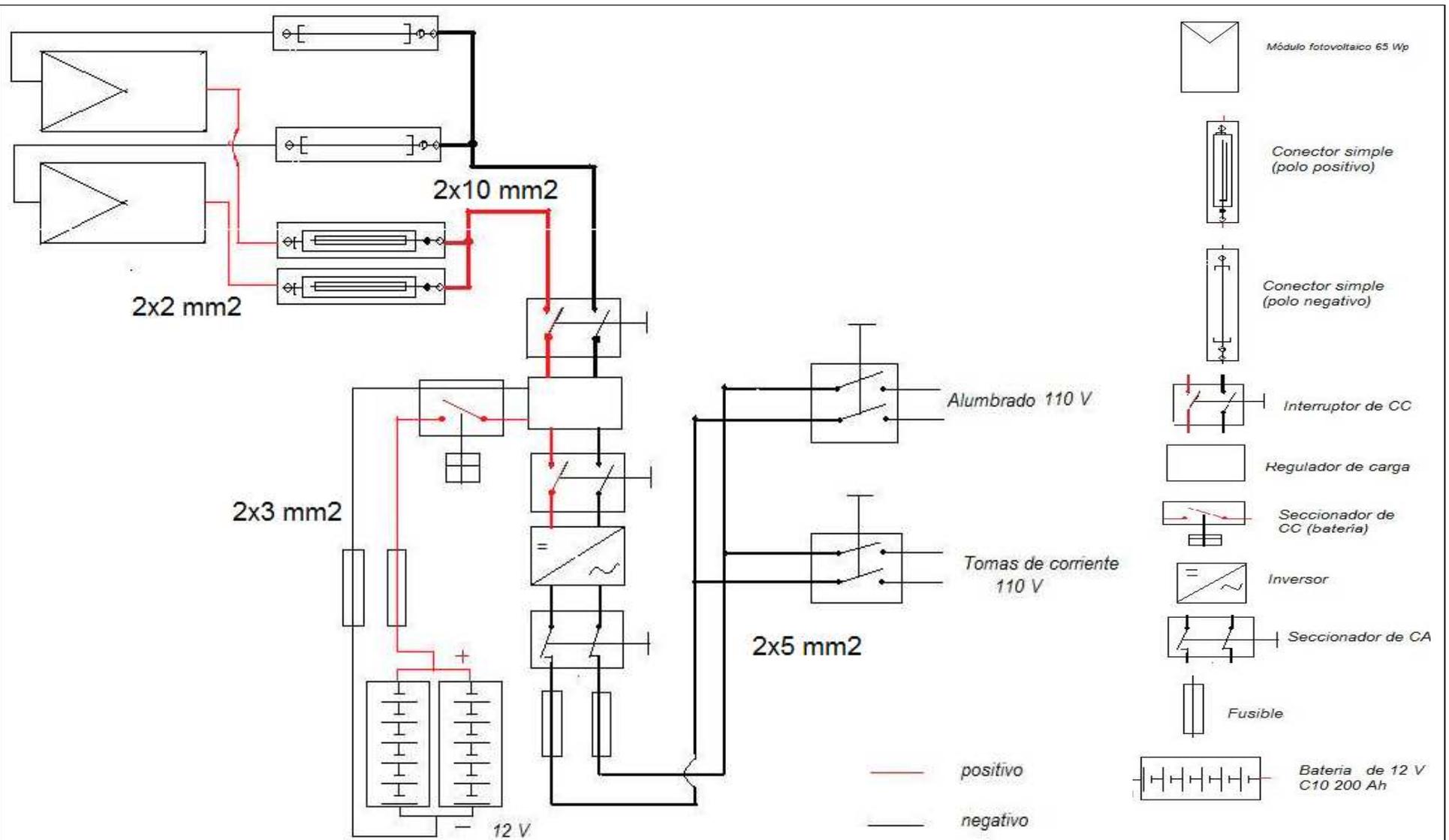
Carmencita Joaquín Barrios

Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado

Esquema unifilar eléctrico, sistema usuario tipo 1

Fecha: Junio 2008

Escala: - - -



Autor:

2/2

Carmencita Joachín Barrios

Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado

Esquema unifilar eléctrico, sistema usuario tipo 2

Fecha: Junio 2008

Escala: - - -