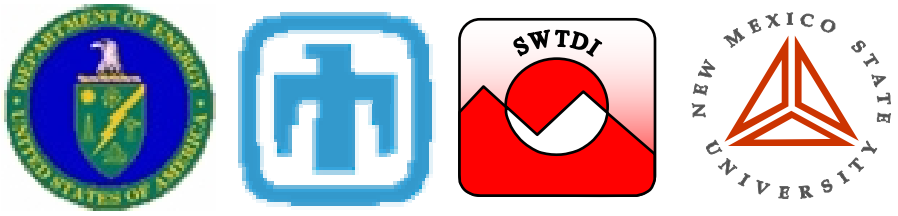
ENERGíA FOTOVOLTAICA EN LA EDUCACIóN A DISTANCIA

Guía Técnica
Agosto – 2001



PREFACIO

Este manual fue redactado como complemento a programas de energía fotovoltaica patrocinados por el Departamento de Energía de Estados Unidos (USDOE) y la Agencia de los Estados Unidos Internacional (USAID) y conducidos por Sandia National Laboratories de Albuquerque, New Mexico.

Las instituciones y funcionarios involucrados directa o indirectamente en el desarrollo de este manual no asumen ninguna responsabilidad por la aplicación de este material. Las referencias que se hacen con respecto a cualquier producto comercial o servicio específico no constituye necesariamente una preferencia o recomendación por parte de los autores. Los materiales disponibles para uso en sistemas fotovoltaicos varían de un país a otro. Se recomienda que el lector haga un esfuerzo por conocer las opciones disponibles en el mercado local. Siempre deben consultarse las recomendaciones del fabricante y los estándares eléctricos y mecánicos establecidos.

La reproducción total o parcial de esta publicación puede autorizarse mediante solicitud expresa a:

Sandia National Laboratories
P. O: Box 5800, MSO753
Alburquerque, NM 87185-0753

SWTDI
New Mexico State University
P.O. Box 30001, MSC 3 SOL
Las Cruces, NM 88003-8001

Para comentarios dirigirse a:

www.nmsu.edu/~tdi/

www.re.sandia.gov

AGRADECIMIENTOS

Este manual fue escrito por Abraham Ellis y Alma Delia Cota de Southwest Technology Development Institute (SWTDI). Valiosas contribuciones en la elaboración de este documento fueron hechas por Robert Foster de SWTDI. También participaron en el desarrollo de esta obra Charles Hanley y Michael Ross de Sandia National Laboratories, al igual que Chris Rovero y Lilia Ojinaga de Winrock International.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA EDUCACIÓN A DISTANCIA 1
1.1.1. Radio interactiva 1
1.1.2. Tele-educación 2
1.1.3. Computadoras 2
1.2. OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS 3
1.3. VIABILIDAD DE PROYECTOS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA 3
1.4. ORGANIZACIÓN DE ESTE MANUAL 4

2 RECURSO SOLAR 6

2.1. IRRADIANCIA E INSOLACIÓN 6
2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL RECURSO SOLAR 7
2.3. DATOS DE INSOLACIÓN 8

DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS 10

3.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 10
3.2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS 11
3.3. EFECTO DE LA IRRADIANCIA Y LA TEMPERATURA 12
3.4. ARREGLOS FOTOVOLTAICOS 12
3.5. DIODOS 14
3.6. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA 14
3.7. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO 14

4 BATERÍAS 16

4.1. CELDAS 16
4.2. TIPOS DE BATERÍAS 17
4.3. CAPACIDAD NOMINAL Y RÉGIMEN DE CARGA Y DESCARGA 17
4.4. ESTADO DE CARGA Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA 18
4.5. CICLOS DE VIDA 19
4.6. CARACTERÍSTICAS DE RECARGA Y DESCARGA 20
4.7. REPOSICIÓN DE AGUA 21
4.8. IGUALACIÓN 21
4.9. ESPECIFICACIÓN DE BATERÍAS 22
4.10. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE BATERÍAS 22

5 CONTROLES 25

5.1. TIPOS DE CONTROLES 25
5.2. VOLTAJE Y CORRIENTE 26
5.3. OPERACIÓN 26
5.4. OPCIONES 27
5.5. ESPECIFICACIÓN DE CONTROLES 28
5.6. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO 28

6 INVERSORES 30

6.1. TIPOS DE INVERSORES 30
6.2. VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA 31
6.3. EFICIENCIA 31
6.4. OPCIONES 32
6.5. ESPECIFICACIONES DE INVERSORES 32
6.6. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO 32

7 CARGAS ELÉCTRICAS 34

7.1. LIMITACIONES Y CONSERVACIÓN DE ENERGÍA 34
7.2. RECOMENDACIONES GENERALES 34
7.3. ILUMINACIÓN 35
7.3.1. Lámparas fluorescentes 36
7.3.2. Balastros 37
7.4. EQUIPO DE AUDIO Y VIDEO 37
7.4.1. Televisores 37
7.4.2. Video-grabadoras 38
7.4.3. Radios y radio-grabadoras 38
7.5. EQUIPO DE RECEPCIÓN DE SEÑAL DE SATÉLITE 39
7.6. EQUIPO DE COMPUTACIÓN 39
7.7. DATOS DE DEMANDA ENERGÉTICA 40

8 DIMENSIONAMIENTO Y ESTIMACIÓN DE COSTOS 42

8.1. DIMENSIONAMIENTO 42
8.1.1. Inventario energético 42
8.1.2. Cálculo del tamaño del arreglo fotovoltaico 44
8.1.3. Cálculo de la capacidad del banco de baterías 45
8.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS 45
8.2.1. Caso de Estudio #1 46
8.2.2. Caso de Estudio #2 47
8.2.3. Caso de Estudio #3 48

9 INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 49

9.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD 49
9.2. INSTALACIÓN 50
9.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 51
9.4. DIAGNÓSTICO Y REPARACIÓN 51

10 DOCUMENTOS DE LICITACIÓN Y ESPECIFICACIÓN 54

10.1. SOLICITUD DE OFERTAS 54
10.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA COMPONENTES 55
10.3. ESPECIFICACÓN DE SERVICIOS POST-VENTA 59
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN 61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escuela rural con acceso a internet (San Ramón Centro, Honduras) 2
Figura 2. Configuración de un sistema FV de iluminación 3
Figura 3. Participación comunitaria en un proyecto de energía solar en Guatemala 4
Figura 4. Irradiancia e insolación (6 HSP en este ejemplo) en un día despejado. 6
Figura 5. Irradiancia e insolación en un día parcialmente nublado 7
Figura 6. Trayectoria solar diaria y anual a unos 20 grados de latitud norte 7
Figura 7. Orientación e inclinación de un arreglo fotovoltaico 8
Figura 8. Seguidor solar 8
Figura 9. Celda FV monocristalina 10
Figura 10. Módulo de 50 W del tipo cristalino 11
Figura 11. Curva IV de un módulo FV cristalino de 50 W a CEP 11
Figura 12. Curva PV de un módulo FV cristalino de 50 W a CEP 11
Figura 13. Arreglo FV con 6 módulos 13
Figura 14. Estructuras de montaje fijas con soporte de bastidores (izquierda) y de poste (derecha) 15
Figura 15. Construcción de una batería 16
Figura 16. Terminales tipo "Z" (izquierda) y Tipo "V" (derecha) 17
Figura 17. Estado de carga y profundidad de descarga 19
Figura 18. Ciclo típico de una batería en sistemas FV independientes 20
Figura 19. Voltaje del sistema para diferentes regímenes de carga y descarga 21
Figura 20. Una caja de plástico para alojar las baterías reduce el riesgo de accidentes y contaminación 23
Figura 21. Operador midiendo la corriente de la batería. Esta batería no está instalada en un lugar apropiado 24
Figura 22. Regulador con control de carga integrado 25
Figura 23. Inversor típico 30
Figura 24. Tipo de onda 30
Figura 25. La iluminación de buena calidad facilita el aprendizaje 35
Figura 26. Lámpara fluorescente 36
Figura 27. Telesecundaria con energía FV en Durango, México 39
Figura 28. Adquiera y utilice las herramientas adecuadas 50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Insolación a la latitud en algunas ciudades de América Latina [a] 9
Tabla 2. Datos de placa típicos de un módulo de 50 W 12
Tabla 3. Estimación del estado de carga a 25°C 21
Tabla 4. Especificación de baterías 22
Tabla 5. Régimen de mantenimiento de baterías 24
Tabla 6. Especificación de controles 29
Tabla 7. Especificación de inversores 33
Tabla 8. Tipos comunes de lámparas fluorescentes 36
Tabla 9. Consumo típico de algunos aparatos eléctricos 40
Tabla 10. Inventario energético 44
Tabla 11. Diagnóstico de problemas menores 52
Tabla 12. Diagnóstico de otros problemas 53

1 Introducción

Este manual trata los aspectos técnicos relacionados con la implementación de proyectos de energía fotovoltaica (FV) para educación a distancia. Se espera que este manual sirva como guía técnica para personas involucradas en el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas FV, así como para las personas que planifican y desarrollan proyectos de educación a distancia. En general, la información contenida en este manual es relevante para otros sistemas de energía renovable para diferentes aplicaciones.

La estimación del tamaño del sistema es clave para el desarrollo de proyectos de energía fotovoltaica. En este manual se muestra cómo dimensionar un sistema a partir de datos de carga y el recurso solar disponible. Las recomendaciones que se muestran de ninguna manera son exhaustivas. El diseño, la instalación, el mantenimiento y el diagnóstico de sistemas FV requiere mucha atención a los detalles. Este manual contiene algunos de los aspectos más importantes, pero siempre se necesita la intervención de un profesional con experiencia para enfrentar las particularidades de cada proyecto.

Es bueno reconocer que los asuntos institucionales (tales como capacitación y seguimiento) son tan importantes como las cuestiones técnicas para asegurar un proyecto exitoso. Un diseño cuidadoso y una instalación adecuada son un buen comienzo, pero no aseguran que el sistema cumplirá con las expectativas de rendimiento y durabilidad. Se recomienda considerar la experiencia de proyectos similares para reducir el riesgo de problemas que después son difíciles de resolver y además costosos.

1.1. Sistemas fotovoltaicos en la educación a distancia

La programación audiovisual es un medio efectivo de apoyar el proceso educativo a todos los niveles. A lo largo de varias décadas se han desarrollado y puesto en práctica modelos de educación formal que utilizan varios tipos de tecnología audiovisual. Estos modelos han hecho posible el acceso y han mejorado la calidad de la educación en áreas rurales, a costos razonables. A continuación se describen ejemplos de tecnología en educación a distancia en áreas rurales.

1.1.1. Radio interactiva

Este modelo requiere un receptor de radio para recibir material didáctico emitido por estaciones de radio. En lugares donde no llega la señal de radio, se pueden reproducir

programas en audio-casetes. El proceso educativo se complementa con material impreso y un facilitador. En América Latina hay varios programas de radio interactiva para impartir educación a nivel primario y alfabetización de adultos. Como ejemplo se debe citar el Programa Educatodos de la Secretaría de Educación en Honduras.

1.1.2. Tele-educación

En este modelo se imparten clases con ayuda de un televisor. La programación puede llegar a las escuelas rurales por medio de videos, señal televisiva, o de satélite. Además del televisor se requiere de una video-grabadora o un receptor satelital, según el caso. El Programa de Telesecundaria de la Secretaría de Educación Pública de México se puede citar como un ejemplo exitoso[1]. En este programa se transmite el contenido didáctico vía satélite.

1.1.3. Computadoras

En los últimos años se han venido introduciendo computadoras para apoyar la educación rural. El uso de computadoras en el medio rural todavía enfrenta serios retos de costo y sostenibilidad. Sin embargo, promete convertirse en un medio viable para la educación a distancia por la disponibilidad de información en formato digital que se pueden distribuir a costos relativamente bajos.

Figura 1. Escuela rural con acceso a internet (San Ramón Centro, Honduras)[2]

Otras tecnologías sencillas como comunicaciones e iluminación pueden apoyar la educación rural. Todas estas aplicaciones requieren de energía eléctrica para funcionar, la cual muchas veces no está disponible en las áreas alejadas de los centros urbanos. Por lo general no es posible enfrentar el reto de mayor acceso en las áreas rurales con la extensión de la red eléctrica convencional debido a los altos costos. En cambio, la energía renovable, particularmente la solar, es una opción viable para generar las pequeñas cantidades de energía que se demandan.

[1] Calderoni, José (Instituto Latioamericano de Cominicación Educativa), Telesecundaria: Using TV to Bring Education to Rural Mexico, Education and Technology Technical Notes Series: Vol. 3, No. 2, 2000.

[2] Foto cortesía de Ron Swenson, Solarquest

1.2. Operación de sistemas fotovoltaicos

La configuración típica de un sistema fotovoltaico (FV) para educación a distancia se muestra en la Figura 2. Los componentes principales de un sistema FV para la generación de electricidad son el arreglo FV, el controlador de carga y de descarga, el banco de baterías y el inversor. El arreglo FV produce la energía eléctrica a partir de la luz solar. El controlador mantiene las baterías saludables. Las baterías regulan el voltaje del sistema y también almacenan energía para permitir su uso durante días nublados o por la noche, si es necesario. Los aparatos que extraen energía del sistema constituyen la carga del sistema. Si las cargas funcionan con corriente alterna, se requiere el uso de un inversor para alimentarlas. El cableado y los demás dispositivos de manejo de energía como interruptores, fusibles y contactos son elementos necesarios para la integración, protección y el manejo del sistema.

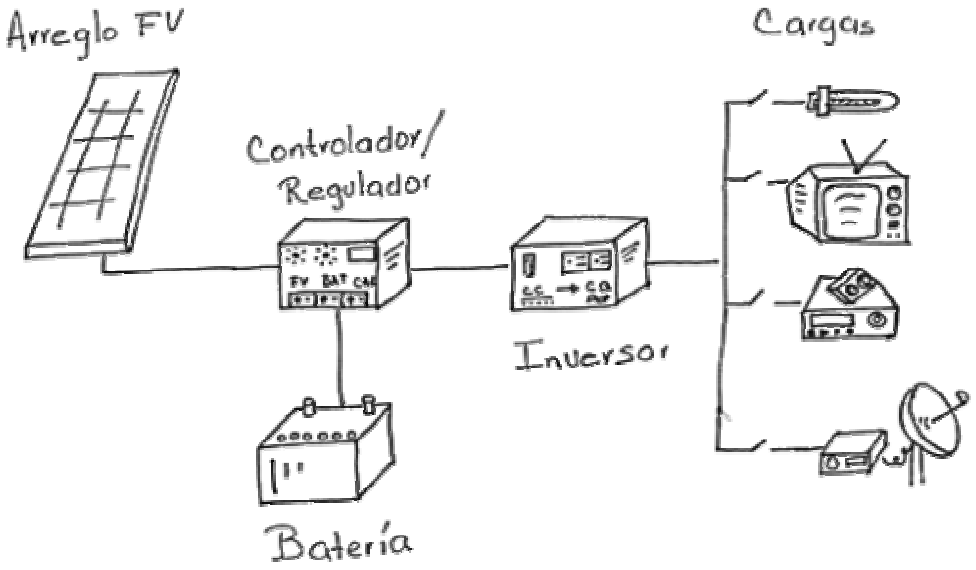


Figura 2. Configuración de un sistema FV de iluminación

El recurso solar disponible determina la cantidad de energía disponible para las cargas. La energía solar diaria es limitada, y por consiguiente la cantidad de energía disponible es limitada. Por esta razón, los sistemas de energía fotovoltaica deben usar aparatos eficientes y se deben aplicar métodos de ahorro de energía.

1.3. Viabilidad de proyectos de energía fotovoltaica

Antes de planificar un proyecto con energía FV, se deben sopesar las ventajas y

desventajas de la tecnología fotovoltaica frente a otras opciones disponibles. La opción fotovoltaica es competitiva cuando se requieren cantidades de energía relativamente pequeñas en lugares remotos o de difícil acceso. Esto se debe al alto costo de extensión de la red eléctrica o suministro de combustible en lugares alejados de los centros urbanos. Es muy difícil justificar económicamente un sistema fotovoltaico en sitios donde ya exista suministro de energía eléctrica convencional. Los moto-generadores y los sistemas de energía renovable son las únicas alternativas viables en muchas zonas rurales. A diferencia de los generadores de combustión interna, los sistemas fotovoltaicos no producen ruido y no representan un riesgo de contaminación por combustibles y lubricantes. Asumiendo un buen diseño y buenas prácticas de instalación y mantenimiento, los sistemas FV pueden ser más confiables y duraderos que los de combustión interna.

Entre las desventajas del uso de la energía FV se destacan el alto costo inicial y la escasa infraestructura comercial y capacidad técnica local. Estas últimas son necesarias para asegurar la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo. Otro requisito crucial es la aceptación de la tecnología tanto la solar como los nuevos servicios que se están implementando. Si la comunidad no comparte la responsabilidad por el costo, la instalación, el mantenimiento y la vigilancia del sistema, el proyecto tiene pocas probabilidades de sobrevivir. Es por estas razones que los proyectos de desarrollo con energía fotovoltaica deben incluir componentes de financiamiento, capacitación y participación comunitaria. Se deben considerar cuidadosamente factores para determinar la viabilidad del proyecto con energía solar.

Figura 3. Participación comunitaria en un proyecto de energía solar en Guatemala

1.4. Organización de este manual

El objetivo principal de los primeros dos capítulos es demostrar la relación entre la energía solar y la energía eléctrica generada por los dispositivos FV. Para esto se discuten los principios básicos sobre energía solar seguidamente de una descripción de las características y el funcionamiento del equipo

FV. Después de estos tópicos se le dedica un espacio a baterías, haciendo especial énfasis a las baterías de ciclo profundo con electrólito de plomo-ácido. Después se discuten los controles del sistema, incluyendo reguladores de carga e inversores. Se ha hecho un esfuerzo por incluir información general que se aplica a la mayoría de los componentes que normalmente se usan en sistemas de hasta 1,000 W de potencia FV. Se ha incluído una sección que describe las características de los aparatos de consumo más comunes que sirven de apoyo la educación rural (luces, aparatos audiovisuales, recepción se señal de satélite y computadoras), señalando el aspecto energético y sus eficiencias de operación. La penúltima sección describe un procedimiento sencillo para estimar el tamaño y costo de un sistema FV en base a un inventario energético y al recurso solar del lugar. El manual termina con una serie de sugerencias para la instalación, la operación, el mantenimiento y el diagnóstico de sistemas FV. Se incluyen protocolos de pruebas de aceptación de instalaciones y un ejemplo de especificaciones técnicas.

2 Recurso Solar

El recurso solar o luz solar es la materia prima para generar energía eléctrica. Se debe tener conocimiento de los conceptos básicos de la energía solar como irradiancia e insolación para entender el funcionamiento y rendimiento de los sistemas FV. La insolación es un parámetro clave para dimensionar sistemas FV.

2.1. Irradiancia e insolación

El recurso solar de un lugar se puede caracterizar en términos de la irradiancia y la insolación. La irradiancia es la intensidad de la luz solar. Las unidades más comunes son Watts por metro cuadrado (W/m^2) o kilowatt por metro cuadrado (kW/m^2). La superficie captadora, en este caso el arreglo FV, recibe más irradiancia cuando se orienta directamente hacia el sol, y no hay obstáculos que hagan sombra, como nubes y árboles. En un día despejado, la irradiancia sobre una superficie perpendicular al sol alcanza un máximo de 1.0 a 1.2 kW/m^2 al mediodía. La Figura 4 muestra cualitativamente la irradiancia para un día despejado sobre una superficie fija.

La insolación es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo. Se mide en unidades de kilowatt-hora por metro cuadrado ($kW\text{-}h/m^2$). Para dimensionar sistemas FV, es necesario conocer la insolación diaria promedio, preferiblemente para cada mes del año. La insolación diaria promedio comúnmente se expresa en horas solares pico (HSP). Una hora solar pico es la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1 kW/m^2. Es decir, 1$kW\text{-}h/m^2$ es igual a 1 HSP. En la Figura 4 se puede visualizar más fácilmente este concepto. No se debe confundir las HSP con las "horas luz", que corresponde a la duración del día. Las HSP y no las horas luz son relevantes para el diseño de sistemas FV. La insolación diaria promedio varía entre 3 y 7 HSP dependiendo del lugar.

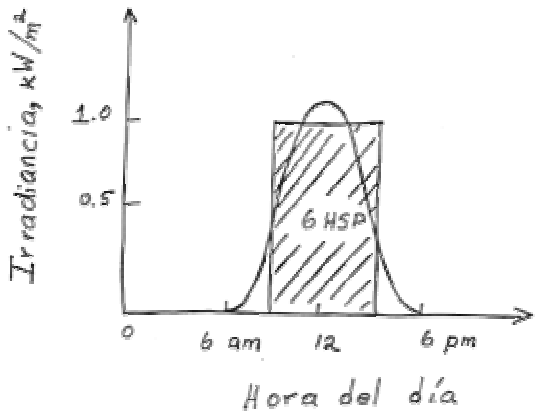


Figura 4. Irradiancia e insolación (6 HSP en este ejemplo) en un día despejado

2.2. Factores que afectan el recurso solar

Los factores más importantes que afectan la irradiancia e insolación son las condiciones atmosféricas, la latitud del lugar, la época del año y la inclinación de la superficie captadora, que en este caso es el arreglo FV. En la Figura 5 se muestra cómo disminuyen las HSP durante un día nublado. En el diseño de sistemas FV, se debe considerar el número de días nublados consecutivos que pueden ocurrir durante un año para determinar la capacidad del banco de baterías que el sistema necesita.

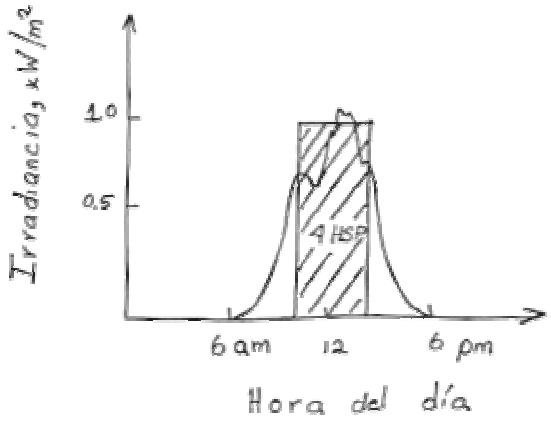


Figura 5. Irradiancia e insolación en un día parcialmente nublado

Otro parámetro que afecta la incidencia de la radiación sobre un captador solar es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año, tal y como se muestra en la Figura 6. Cada día se observa que el "sol sale" por el Este y se "esconde" por el Oeste. Por otro lado, el movimiento traslacional de la tierra alrededor del sol da lugar a las estaciones del año. Este movimiento repercute en la "altitud aparente" del sol y en consecuencia en la duración del día. En verano los días son apreciablemente más largos que en el invierno. Debido a esta variación, la insolación recibida sobre la superficie cambia anualmente.

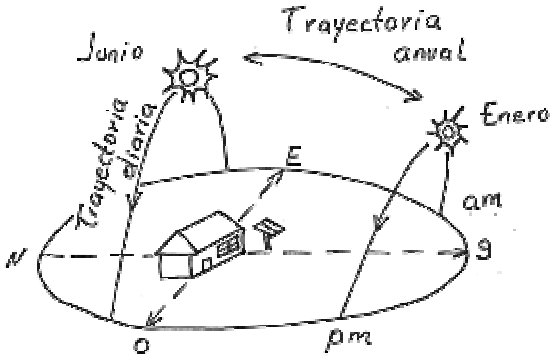


Figura 6. Trayectoria solar diaria y anual a unos 20 grados de latitud norte

La posición de un arreglo fijo está dada por su orientación y el ángulo de inclinación, como se muestra en la Figura 7. Para obtener la mayor insolación anual total sobre un arreglo FV fijo, la inclinación en grados debe ser igual a la latitud del lugar, y la orientación debe ser hacia el sur verdadero. En algunos casos, es recomendable seleccionar una inclinación diferente a la latitud para que la insolación sobre el arreglo

coincida mejor con el patrón de demanda energética del proyecto. Por lo general, el ángulo de inclinación no debe ser menor que 10 grados para evitar acumulación de polvo en la superficie. Para la orientación, se puede usar el sur magnético que indica una brújula. Puede haber una pequeña diferencia entre el sur magnético y el sur verdadero debido a la declinación magnética del lugar. Como regla general, no hay que preocuparse por esta diferencia a menos que ésta sobrepase unos 15 grados. En América Latina, esto sólo ocurre en el extremo Este de Brasil. En ese lugar, los arreglos FV deben orientarse a unos 20 grados al Oeste del Sur magnético.

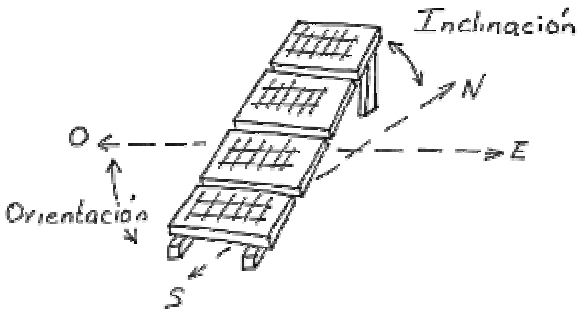


Figura 7. Orientación e inclinación de un arreglo fotovoltaico

La mayoría de los arreglos FV pequeños se instalan sobre estructuras fijas. Para aumentar la energía solar disponible, se pueden instalar sobre seguidores solares como el mostrado en la Figura 8 en lugar de colocarlos sobre estructuras fijas. Los seguidores permiten que el arreglo FV se mantenga orientado hacia el sol el mayor tiempo posible durante el día a lo largo de todo el año. De esta manera, la insolación, y en consecuencia la energía producida por el arreglo FV, aumenta del 15 al 30%, dependiendo de la época del año y la latitud del lugar. El efecto es mayor durante los meses de verano.

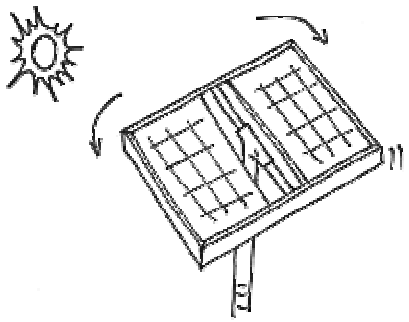


Figura 8. Seguidor solar

2.3. Datos de insolación

Los datos de insolación son necesarios para dimensionar cualquier sistema FV. Hay diversas fuentes de datos de insolación. La mayoría de los datos son estimaciones obtenidas a partir de modelos que consideran la latitud del lugar y los patrones de nubosidad. Cualquiera que sea la fuente de los datos hay que considerar que la insolación real del sitio del proyecto puede diferir hasta en un 15%. Los datos de insolación deben ser mensuales o por lo menos trimestrales para que sean útiles en el diseño de sistemas FV. Además, se debe tener cuidado de utilizar datos de insolación

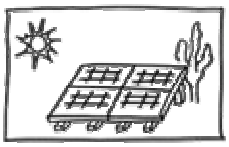
medidos a una inclinación cercana a la inclinación del arreglo FV. Es común encontrar tablas de insolación horizontal (es decir radiación medida sobre un plano horizontal). Estos datos deben ajustarse al ángulo de inclinación del arreglo antes de utilizarlos en el diseño. La Tabla 1 muestra datos de insolación a la latitud de varias ciudades de América Latina.

Tabla 1. Insolación a la latitud en algunas ciudades de América Latina [a]

Ciudad	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Buenos Aires, Argentina	34.6° S	6.5	6.2	5.4	4.7	4.0	3.4	3.7	4.4	5.2	5.7	6.0	6.5	5.2
La Paz, Bolivia	16.5° S	4.5	4,8	5.3	5,3	5,8	6,4	5,2	5,0	6,1	6,3	5,7	5,4	5,5
Sao Paulo. Brasil	23.6° S	4.9	5.1	4.6	4.5	3.9	4.0	3.8	4.0	4.7	5.0	5.1	4.9	4.5
Santiago, Chile	33.5° S	6.9	7.3	6.4	5.4	3.6	3.0	3.3	3.8	4.4	6.1	6.2	7.1	5.3
Bogotá, Colombia	4.6° N	5.4	5.2	4.8	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	4.1	4.5	4.7	4.7
Quito, Ecuador	0.3° S	5.0	5.0	4.1	4.3	4.1	4.3	4.7	5.7	4.6	4.8	4.8	4.8	4.7
Chihuahua, México	27.8° N	5.8	6.4	6.8	6.9	6.8	6.4	6.4	6.5	6.7	6.8	5.9	5.2	6.4
México, DF	19.3° N	4.9	6.8	7. 9	6.0	5.5	4.5	4.6	5.2	5.0	4.8	5.0	5.2	5.5
Puerto Vallarta, México	20.0° N	5.2	5.7	5,9	5,7	5,7	5,4	5,6	5,7	5,5	5,5	5,1	4,7	5,5
Todos Santos, México	23.0° N	5.0	5.4	5.8	5.9	6.2	6.1	5.7	6.1	5.8	5.8	5.2	4.4	5.6
Tuxtla Gutierrez,México	14.5° N	4.4	5.1	4.9	4.5	4.4	4.1	4.4	4.4	4,0	4.2	4.4	4.2	4.4
Veracruz, México	19.2° N	4.4	5.7	6.1	5.7	6.4	6.4	5.3	6.1	6.2	6.3	5.7	5.8	5.9
Huancayo, Perú	12.0° N	7.2	5.8	6.7	6.6	6.3	6.4	6.8	7.1	7.1	7.2	6.9	6.4	6.7
San Juan, Puerto Rico	18.5° N	6.0	6.4	7.0	6.8	6.0	6.4	6.8	6.3	6.3	6.2	5.7	6.0	6.3
San Salvador, El Salvador	13.6° N	6.5	6.8	6.7	6.2	5.7	4.8	5.7	6.6	5.2	6.1	6.5	6.7	6.1
Montevideo, Uruguay	34.9° S	6.8	6.8	6.2	5.3	4.5	3.8	3.8	4.5	5.3	5.9	6.6	6.7	5.5
Barcelona, Venezuela	10.1° S	5.6	6.0	6.0	5.5	5.2	5.6	6.0	5.6	6.0	5.6	5.5	5.5	5.6

[a] Estos datos fueron procesados por el Instituto de Desarrollo Tecnológico del Suroeste (SWTDI) a partir de un modelo de latitud y patrones de nubosidad

3 Dispositivos Fotovoltaicos



Los dispositivos FV transforman la energía solar en energía eléctrica. La celda es el dispositivo FV más básico. Las celdas se fabrican a partir de silicio de alta pureza, impregnadas con materiales especiales como fósforo y boro que las hace activas cuando se exponen a la luz solar. Las celdas más comunes son cristalinas, que a su vez pueden ser monocristalinas y policristalinas. También existen celdas no cristalinas o también llamadas amorfas, las cuales existen en diferentes variedades.

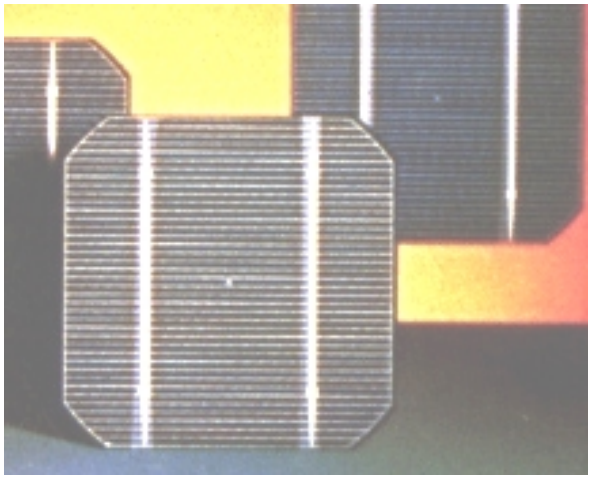


Figura 9. Celda FV monocristalina

3.1. Módulos fotovoltaicos

Un módulo FV, también llamado panel solar, es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente y protegidas contra la intemperie. Generalmente, los módulos tienen una cubierta frontal de vidrio templado y un marco de aluminio que facilita su transporte e instalación. Debido a que no tienen partes móviles, los módulos son muy confiables y duraderos. Algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años contra defectos de fábrica y reducción de rendimiento. Otra característica importante es el mínimo mantenimiento que requieren. Los módulos pueden ser monocristalinos, policristalinos y amorfos, dependiendo del tipo de celda que contienen. En la práctica, no hay diferencia en el rendimiento de los módulos monocristalinos y policristalinos. Los módulos amorfos tienden a sufrir degradación más acelerada y su eficiencia energética es menor. Sin embargo, en un futuro cercano, la tecnología de módulos amorfos promete alcanzar la confiabilidad de los módulos cristalinos a un costo más bajo.

Los fabricantes ofrecen módulos de diferentes tamaños o potencia nominal. Los hay de 10 a 300 W, aunque los más comunes son los de 50 W de potencia nominal, como el que se muestra en la Figura 10. Los módulos cristalinos de 50 W tienen una superficie de aproximadamente 0.5 m^2. En un arreglo FV, los módulos se interconectan para obtener mayor potencia. Muchas personas usan el número de módulos como indicación del tamaño del arreglo FV. Si no se especifica la

capacidad nominal del módulo, se puede asumir que es 50 W.

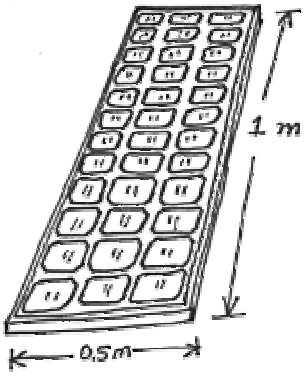


Figura 10. Módulo de 50 W del tipo cristalino

3.2. Características eléctricas

El comportamiento eléctrico de los módulos FV está dado por las curvas de corriente contra voltaje (curva IV). Esta curva especifica la corriente que produce el módulo en un rango de voltaje. La Figura 11 muestra la curva IV para un módulo FV típico a condiciones estándares de prueba (CEP), que corresponde a una irradiancia de 1 kW/m² y a una temperatura de celda de 25°C. Es bueno notar que la potencia que entrega el módulo se reduce cuando el módulo no opera a un voltaje óptimo. Esto es evidente en la curva de potencia contra voltaje (curva PV) que aparece en la Figura 12.

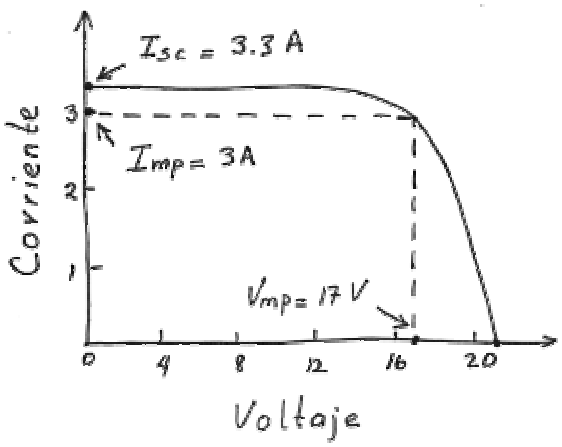


Figura 11. Curva IV de un módulo FV cristalino de 50 W a CEP

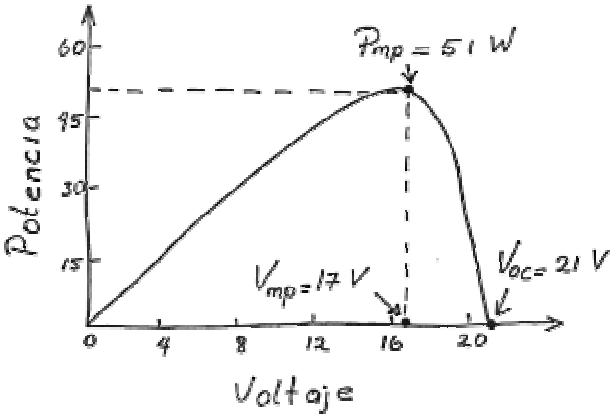


Figura 12. Curva PV de un módulo FV cristalino de 50 W a CEP

Una manera más sencilla de especificar las características de los módulos es definiendo la potencia, el voltaje y la corriente nominal a CEP. La potencia nominal corresponde a la potencia máxima (P_{mp}). La corriente y el voltaje que corresponden con P_{mp} se denominan la corriente y el voltaje nominal del módulo, I_{mp} y V_{mp}, respectivamente. En la mayoría de los módulos, V_{mp} es aproximadamente 17 V. Cabe notar que en un sistema FV independiente, los módulos

operan al voltaje del banco de baterías, típicamente entre 12 y 14 V. Otros parámetros de importancia son la corriente de corto circuito (I_{sc}) y el voltaje de circuito abierto (V_{oc}).

En la parte posterior todo módulo FV debe tener una placa del fabricante que liste el modelo y las especificaciones eléctricas. La placa en la parte posterior del módulo correspondiente a la Figura 11 tendría los datos de placa mostrados en la Tabla 2. Los valores de V_{mp} y V_{oc} son valores representativos de la mayoría de los módulos comerciales, independientemente de la capacidad del módulo.

Tabla 2. Datos de placa típicos de un módulo de 50 W

Modelo	B-51
Pmp	51 W
Vmp	17 V
Imp	3 A
Voc	21 V
Isc	3.3 A
Condiciones	1000 W/m^2, 25° C

3.3. Efecto de la irradiancia y la temperatura

Los datos de placa sólo son verificables a condiciones estándares de prueba. Durante su operación, la irradiancia y la temperatura raramente corresponden a las CEP y por consiguiente no se obtienen los datos de placa. La irradiancia afecta la corriente y la potencia del módulo en forma proporcional, pero no afecta el voltaje apreciablemente. Por ejemplo, un módulo FV puede producir solamente 50% de su potencia nominal cuando la irradiancia es 0.5 kW/m^2. La temperatura de la celda afecta el voltaje y la potencia del módulo, pero el efecto es menor. Se puede esperar una reducción en voltaje y potencia de aproximadamente de 0.5% por cada grado Celsius de las celdas por encima de 25°C. Los módulos FV operan típicamente a una temperatura de celda cercana a 55°C. Esto significa que sólo pueden producir 85% de la potencia nominal a plena irradiancia[3].

Cuando operan cerca de su punto de potencia máxima, los módulos cristalinos comerciales tienen una eficiencia de aproximadamente 13%. En otras palabras, 13% de la irradiancia efectiva que incide en su superficie puede ser transformada en potencia eléctrica. Los módulos amorfos actuales tienen una eficiencia de hasta 10%.

3.4. Arreglos fotovoltaicos

Un arreglo FV es un conjunto de módulos interconectados en serie y paralelo. Dos o más módulos conectados en serie forman una hilera o cadena. Puede haber una o más hileras o módulos individuales conectados en paralelo. En la Figura 13 se muestra un arreglo FV de 6 módulos, montados sobre

una estructura fija. La curva IV del arreglo tiene la misma forma que la curva IV de los módulos individuales, pero con los parámetros de potencia, corriente y voltaje a escala de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo. El número de módulos en cada hilera determina el voltaje nominal del arreglo:

V_{mp} del arreglo = (V_{mp} de cada módulo) x (# de módulos en serie)

Sabiendo que el valor típico de V_{mp} es 17 V, el voltaje nominal del arreglo FV puede ser 17 V, 34 V, 51 V, etc. En condiciones reales de trabajo[4], el voltaje óptimo de cada módulo es aproximadamente 15 V. Es por eso que en los sistemas FV sin baterías (por ejemplo en bombeo de agua), el voltaje del arreglo se da en múltiplos de 15 V. Cuando se usan baterías, el voltaje nominal del sistema está dado por el banco de baterías y no es el mismo que el voltaje nominal del arreglo. El voltaje nominal de un sistema con batería se da en múltiplos de 12 V. Si el sistema es de 12 V, el arreglo FV puede tener uno o más módulos conectados en paralelo. Si el sistema es de 24 V, el arreglo FV puede tener una o más hileras en paralelo, cada una con dos módulos en serie.

[3] Reducción en potencia nominal es 0.5% × (55°C-25°C) = 15%
[4] A una temperatura de aproximadamente 55°C

La corriente nominal del arreglo está dada por el número de hileras o módulos individuales conectados en paralelo:

I_{mp} del arreglo = (I_{mp} de cada módulo) x (# de hileras o módulos en paralelo)

Por último, la potencia nominal del arreglo es la suma de la potencia nominal de cada módulo:

P_{mp} del arreglo = (P_{mp} de cada módulo) x (# de módulos en el arreglo)

Figura 13. Arreglo FV con 6 módulos

Ejemplo. La demanda energética de una escuela es abastecida con un arreglo de 4 módulos en paralelo. Los datos de placa están dados en la Tabla 2. Los datos nominales del arreglo son:

Voltaje nominal (V_{mp}) = 17 V × 1 = 17 V
Corriente nominal (I_{mp}) = 3 A × 4 = 12 A
Potencia nominal (P_{mp})= 51 W × 4 = 204 W

Continuación del ejemplo:

El voltaje nominal del sistema es de 12 V porque se usan baterías y todos los módulos están en paralelo.

3.5. Diodos

Los módulos comerciales generalmente vienen con diodos de paso contenidos dentro de la caja de conexiones. Los diodos de paso son útiles para evitar que un módulo se convierta en una carga eléctrica para el sistema. Esto puede suceder cuando una parte del arreglo está sombreada.

3.6. Estimación de la energía generada

La energía eléctrica que puede producir un arreglo FV en unidades de Watts-hora (W-h) es el producto de la potencia nominal (W) por la insolación (en HSP) sobre el arreglo FV. En un sistema con baterías, el arreglo FV produce aproximadamente 20% menos energía debido al voltaje de las baterías[5]. Como se verá más adelante, otro 30% de la energía generada por el arreglo FV se pierde por ineficiencia de las baterías y demás componentes del sistema. En resumen, un buen estimado de la energía disponible para operar las cargas es:

Energía disponible (W-h) = 0.5 × potencia nominal del arreglo (W) × insolación (HSP)

Ejemplo. La escuela del ejemplo anterior está en Veracruz, México. El arreglo FV tiene una inclinación fija igual a la latitud del lugar. La insolación varía entre 4.4 y 6.4 HSP (Tabla 1). La energía disponible para las cargas en los meses de mayor y menor insolación son, respectivamente:

$0.5 \times 204W \times 6.4\ HSP = 653$ W-h, y

$0.5 \times 204W \times 4.4$ HSP = 449 W-h.

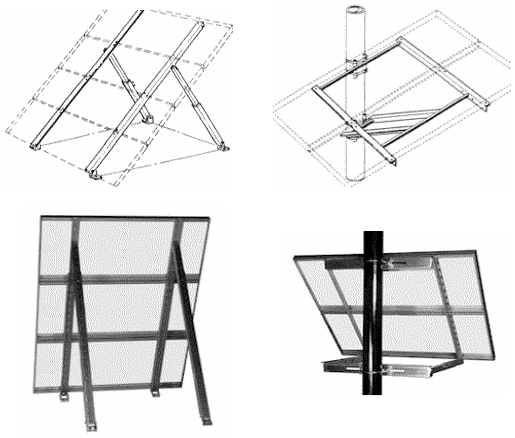
3.7. Instalación y mantenimiento

Los arreglos FV se pueden instalar sobre el terreno, sobre techos o en postes. En la Figura 14 se muestran los tipos de estructuras fijas más comunes. La estructura de la izquierda es apropiada para montaje sobre el suelo o sobre techos (con patas más cortas). Si la inclinación y orientación del techo lo permite, se puede instalar los módulos sobre rieles fijados con tornillos a miembros principales del techo. Siempre se debe dejar suficiente espacio para que el aire circule libremente por la parte posterior de los módulos.

La estructura y los accesorios de montaje deben ser de metal resistente a la corrosión, como aluminio y acero galvanizado o acero

[5] En un sistema de 12 V, el voltaje de operación promedio es 12.5 V, mientras que Vmp es 17 V.

inoxidable. La estructura debe ser permanente y debe resistir la carga de vientos

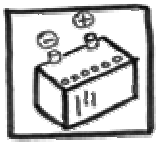


fuertes.

Figura 14. Estructuras de montaje fijas con soporte de bastidores (izquierda) y de poste (derecha)

Los módulos necesitan muy poco mantenimiento y raramente fallan. Tan sólo es necesario mantenerlos libres de sombra durante el año. El polvo no afecta significativamente la producción de los módulos, pero si se acumula demasiado, se pueden lavar vertiendo una cubeta de agua. Esta limpieza debe realizarse temprano en la mañana, antes de que los módulos se calienten.

4 Baterías



Las baterías o los acumuladores son dispositivos que almacenan energía eléctrica. Las baterías cumplen varias funciones en los sistemas FV independientes. Las baterías sirven para almacenar la energía eléctrica para su uso por la noche, permitir la operación de las cargas durante periodos de poco sol, estabilizar el voltaje del sistema y, absorber transitorios.

El uso de baterías tiene desventajas significativas. De hecho, es preferible no utilizar baterías cuando se es posible acoplar la carga directamente al arreglo FV y por supuesto cuando no se necesita almacenamiento. Las baterías aumentan el costo del sistema, aumentan los requisitos de mantenimiento, disminuyen el rendimiento del sistema debido a la pérdida de capacidad y, representan un riesgo potencial de causa de accidentes y de contaminación.

Nota importante: Tenga mucho cuidado cuando trabaje con baterías. Un corto circuito accidental puede causar quemaduras graves. El ácido puede causar quemaduras en la piel y ojos.

4.1. Celdas

Las baterías están formadas por celdas electroquímicas, como se muestra en la Figura 15. Cada celda está formada por placas positivas y negativas las cuales están inmersas en un electrólito. Las celdas de plomo-ácido son las más comunes y se usan ampliamente en los sistemas FV pequeños por razones de costo.

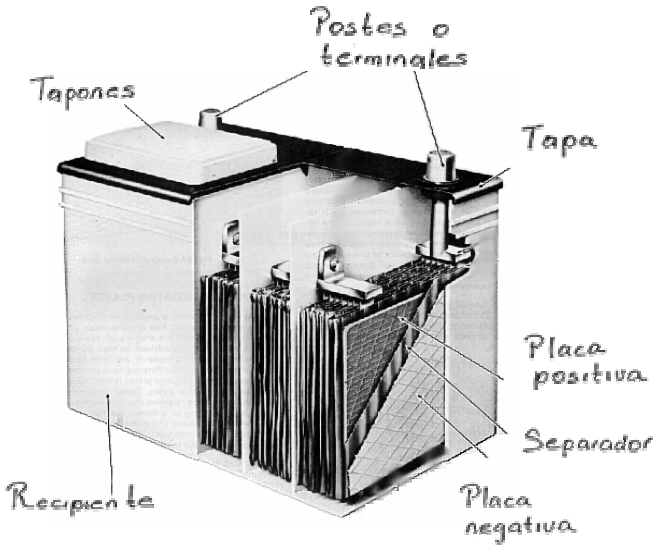


Figura 15. Construcción de una batería

En una batería de plomo-ácido, las placas son de plomo y el electrólito es ácido sulfúrico. Cada celda de plomo-ácido tiene un voltaje nominal de 2 V, de manera que una batería de 12 V contiene 6 celdas en serie. También se pueden encontrar baterías de 6 y 8 V.

4.2. Tipos de baterías

Las baterías de ciclo profundo tienen placas gruesas y están diseñadas para descargarse repetidamente por horas sin sufrir daño significante. En cambio las baterías de arranque tienen placas más frágiles y están diseñadas para entregar corrientes altas durante sólo por pocos segundos. Algunas baterías de arranque denominadas marinas tienen placas de grosor intermedio. Las baterías de ciclo profundo son las más apropiadas para sistemas FV independientes. Las marinas pueden dar resultados aceptables si se tiene mucho cuidado de no descargarlas demasiado. Sólo las baterías de ciclo profundo resisten las descargas profundas que normalmente ocurren en los sistemas FV independientes.

Las de plomo-ácido pueden ser de electrólito líquido o electrólito cautivo. Las baterías de electrólito líquido por lo general son "abiertas", lo que quiere decir que se les puede agregar agua. Son más robustas y más duraderas si se tiene cuidado de agregar agua periódicamente. Las de electrólito cautivo incluyen las gelatinosas y las de electrólito absorbido (AGM). Los fabricantes las denominan "libres de mantenimiento" o "selladas" porque no tienen orificios para agregarles agua. Este tipo de batería requiere mayor cuidado al recargarlas porque una sobre-recarga las puede arruinar.

Hay varios tamaños estándares (dimensiones de largo, ancho y alto) de baterías de plomo-ácido. Los tamaños más comunes para baterías de 12 V son las de los grupos BCI[6] 24 y BCI 27, de aproximadamente 85 y 100 A-h de capacidad nominal, respectivamente. Las versiones de 6 V de las mismas dimensiones son de aproximadamente 200 A-h y generalmente se designan con grupo BCI GC2.

En cuanto a los postes o terminales, también hay varias configuraciones estándar. Dos tipos de terminales se muestran en la Figura 16. Las terminales que aceptan tornillos (como las "X" y "Z") son más recomendables porque permiten conexiones eléctricas más eficaces y duraderas. Se debe evitar el uso de terminales automotrices o tipo "T".

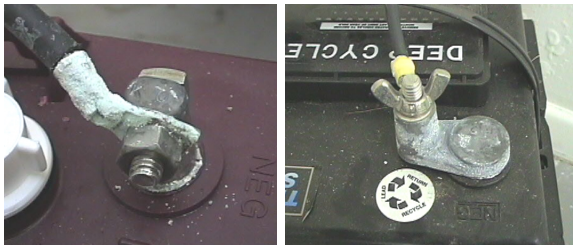


Figura 16. Terminales tipo "Z" (izquierda) y Tipo "V" (derecha)

4.3. Capacidad nominal y régimen de carga y descarga

La capacidad nominal de una batería se refiere a la capacidad de almacenamiento de energía y se expresa en Amperes-hora (A-h).

[6] Batery Council International

Como lo indican las unidades, la capacidad está relacionada con la corriente I en amperes y el tiempo T en horas, de la siguiente manera:

C (capacidad en A-h) = I (corriente en Amperes) x T (tiempo en horas)

Por ejemplo, una batería de 100 A-h nueva y completamente cargada es capaz de entregar una corriente de 20 A durante 5 horas hasta descargarse totalmente. Asimismo, esta batería podría entregar 10 A durante 10 horas si se descarga totalmente. En realidad, la temperatura y el régimen de descarga afectan la capacidad que puede entregar la batería.

Nota importante: Aquí se habla de descargar la batería completamente solamente para ilustrar el significado de la capacidad nominal. Sin embargo, ninguna batería de plomo-ácido se debe descargar totalmente porque sufriría daños irreversibles.

Las baterías de arranque vienen caracterizadas por su amperaje de arranque, CA (cranking amps) o CCA (cold cranking amps), y por su capacidad de reserva. Estas caracterizaciones sólo son relevantes para aplicaciones de arranque y no para ciclo profundo. Las verdaderas baterías de ciclo profundo deben especificar su capacidad en A-h.

El régimen de descarga es la corriente en amperes que sale de la batería en un momento dado. El régimen de recarga es la corriente que entra a la batería en un momento dado. Se acostumbra a expresar el régimen de corriente con respecto a la capacidad nominal de la batería, utilizando la relación anterior:

I (corriente en A) = C (capacidad en A-h) ÷ T (tiempo en horas)

Por ejemplo, si una batería de 100 A-h de capacidad nominal está entregando 5 A, se dice que el régimen de descarga "C/20". En otras palabras, entregaría su capacidad nominal en 5 horas.

4.4. Estado de carga y profundidad de descarga

El estado de carga de una batería es la capacidad o los amperes-hora remanentes, y se expresa como porcentaje de la capacidad nominal. Por ejemplo, si una batería de 200 A-h tiene 150 A-h remanentes (es decir se le han extraído 50 A-h), su estado de carga es 75%. El porcentaje de la capacidad nominal extraído se conoce como profundidad de descarga. En el caso anterior, la profundidad de descarga es 25%. En la Figura 17 se ilustran estos conceptos.

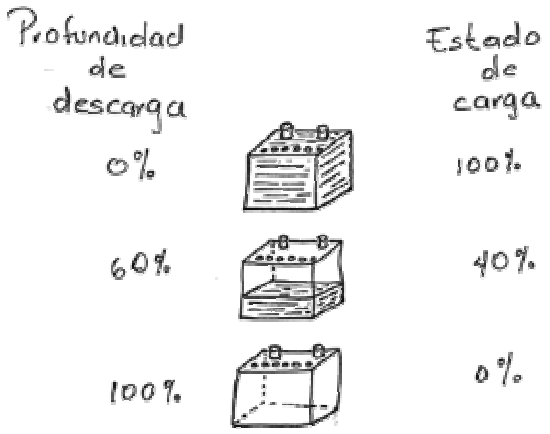


Figura 17. Estado de carga y profundidad de descarga

4.5. Ciclos de vida

El proceso de cargar una batería y descargarla parcialmente corresponde a un ciclo. La vida útil de las baterías de ciclo profundo se expresa en ciclos de vida a cierta temperatura y profundidad de descarga. Una especificación típica para baterías de ciclo profundo es 1500 ciclos de vida a una profundidad de descarga promedio de 50% y a una temperatura de 25°C. En los sistemas FV independientes, un ciclo de la batería ocurre aproximadamente una vez por día, de manera que la vida útil típica de una batería de ciclo profundo es 3 a 5 años. En cambio, las baterías de arranque sólo duran de 6 a 18 meses en condiciones típicas de uso.

La capacidad de almacenamiento disminuye con el tiempo de uso. Generalmente se considera que una batería ha llegado al fin de su vida útil cuando ha perdido del 25 al 30% de su capacidad nominal, o cuando ya no satisfaga los requisitos de almacenamiento del sistema. La disminución de la capacidad puede ser tan leve como 5% anual o tan severa como 50% anual, dependiendo varios factores externos.

La temperatura afecta drásticamente la vida útil de cualquier batería. A una temperatura promedio de 35°C, la vida útil de una batería de plomo ácido se reduce a la mitad con respecto a la vida útil a 25°C. A temperaturas bajas, la capacidad efectiva de las baterías disminuye. La temperatura óptima de operación es entre 20 y 25°C. Si la temperatura ambiente varía mucho alrededor de este rango, es recomendable instalar las baterías bajo tierra, en un recipiente hermético[7].

Las baterías de ciclo profundo se pueden operar económicamente a profundidades de descarga diaria de hasta 50%, y pueden resistir descargas ocasionales de hasta 80%[8]. Un ciclo ideal de la batería en sistemas FV pequeños se muestra en la Figura 18. El estado de carga baja hasta 60-85% y seguidamente se recupera hasta 90-95%. Es importante recargar la batería diariamente

[7] En los trópicos, la temperatura del suelo se mantiene cerca de 25°C durante todo el año.

[8] En cambio, las baterías de arranque sólo toleran ciclos de sólo 15% de profundidad de descarga y no las descargas profundas que típicamente ocurren en los sistemas FV. El uso de baterías de ciclo profundo también se puede justificar por su mayor esperanza de vida, lo cual reduce el riesgo de contaminación.

para que alcance un alto estado de carga antes de descargarse. Si las baterías operan en un rango de estado de carga bajo, su vida útil disminuye considerablemente.

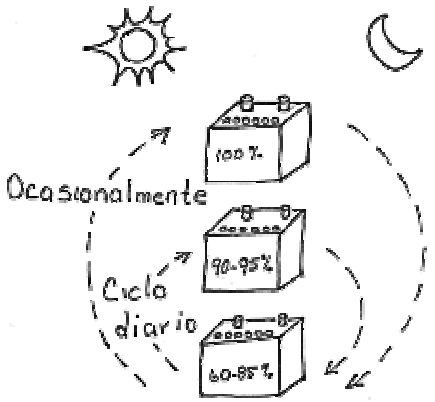


Figura 18. Ciclo típico de una batería en sistemas FV independientes

Es buena práctica asegurarse que las baterías se recuperen completamente por lo menos una vez al mes. Esto requiere una reducción o anulación de las cargas por uno o más días. En algunas aplicaciones de educación, las baterías tienen tiempo suficiente para recuperarse durante los fines de semana cuando no se imparten clases.

La falta de uso de las baterías por un periodo de tiempo prolongado también puede ser un problema. En un sistema escolar, hay que tener cuidado de darle mantenimiento a las baterías durante el período de varios meses cuando no se imparten clases, principalmente reponiendo el agua.

4.6. Características de recarga y descarga

La Figura 19 muestra el voltaje de una batería de plomo-ácido durante la descarga y la recarga. Note que los voltajes varían de acuerdo al régimen de descarga y de recarga[9]. Esto implica que una medición directa del voltaje con la batería en operación no es una indicación confiable del estado de carga. Se puede obtener una estimación más confiable midiendo el voltaje de la batería después de varias horas en reposo (desconectada de todas las cargas y del regulador), como se muestra en la Tabla 3. Otra forma de estimar el estado de carga es midiendo la gravedad específica del electrólito con un hidrómetro. Para hacer esto con cierta confiabilidad, se necesita tener información muy precisa de tipo de batería y la concentración del electrólito. En la Tabla 3 también se muestran datos de gravedad específica y estado de carga para baterías solares típicas[10].

Una batería de plomo-ácido completamente cargada debe tener un voltaje en reposo de aproximadamente 12.6 V. Sin embargo, se necesita aplicar un voltaje mayor para completar la recarga. En los sistemas FV

[9] La temperatura de la batería también afecta los voltajes a razón de aproximadamente 0.03 V de aumento por cada centígrado por encima de 25°C. En una batería de 12V, esto equivale a 0.12 V por grado centígrado por encima de 25°C. Algunos reguladores de carga incluyen una compensación para los efectos de temperatura.

[10] Tenga mucho cuidado al extraer electrólito de las baterías. Se corre el riesgo de sufrir quemaduras por el ácido y contaminación de la celda.

pequeños, se requiere un voltaje cercano a 14.4 V para cargar la batería completamente. Las baterías libres de mantenimiento no deben mantenerse a este alto nivel de voltaje por mucho tiempo porque tienden a perder agua y no es posible reponerla.

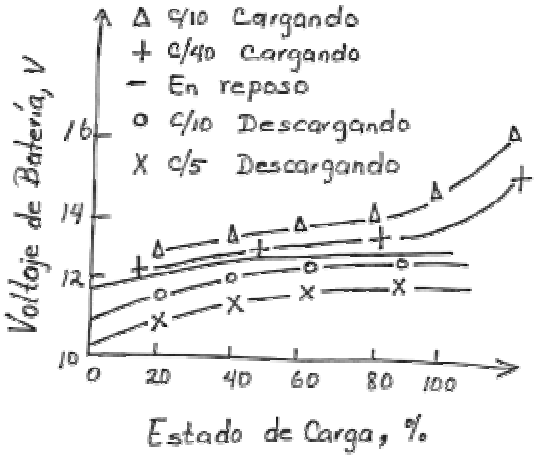


Figura 19. Voltaje del sistema para diferentes regímenes de carga y descarga

Tabla 3. Estimación del estado de carga a 25°C

Voltaje, V [a]	Gravedad específica [b]	Estado de carga
12.6	1.225	100%
12.5	1.185	75-100%
12.3	1.150	50-75%
12.1	1.115	25-50%
<12.0	1.080	<25%

[a] Batería en reposo, medido en las terminales

[b] Asumiendo electrólito líquido, baterías de ciclo profundo

4.7. Reposición de agua

Las baterías con electrólito líquido normalmente pierden agua durante su operación. A mayor temperatura ambiente, mayor es la pérdida de agua. La pérdida de agua es mayor durante la recarga, especialmente cuando el voltaje sobrepasa el "voltaje de gaseo", que es aproximadamente 14.3 V.

Se debe establecer un programa de reposición de agua para mantener el nivel del electrólito por encima de las placas y así evitar que reaccionen con el aire. Este programa debe tomar en cuenta periodos especiales durante el año cuando las cargas son bajas o nulas y el voltaje de las baterías sobrepasa voltaje de gaseo durante el día. En estas condiciones, se debe reponer el agua con mayor frecuencia. Debido a que no es posible reponer agua en las baterías libres de mantenimiento, se debe seguir estrictamente las recomendaciones del fabricante en cuanto a la recarga.

Sólo se debe agregar agua destilada o deionizada a las baterías. El agua potable o de fuentes naturales contiene iones disueltos que pueden arruinar el proceso químico de las celdas. Una opción aceptable es el agua de lluvia colectada con un recipiente de plástico limpio. Es importante que se mantenga una despensa de agua destilada para las baterías.

4.8. Igualación

Para baterías de plomo-ácido inundadas abiertas solamente, es recomendable aplicar de vez en cuando una recarga de igualación

para mantener las celdas saludables. Si las baterías muestran síntomas de bajo rendimiento, es posible que una carga de igualación ayude a recuperar parte de la capacidad pérdida.

La igualación consiste en recargar las baterías por encima del voltaje de gaseo durante 3 ó 4 horas consecutivas. Por lo general es recomendable seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante con respecto a la igualación. Sin el apoyo de una fuente como la red o moto-generador, esto implica interrupción de las cargas por un periodo de dos o más días. Se debe agregar agua a las baterías inmediatamente después de una igualación porque se pierde agua rápidamente durante el proceso.

La pérdida excesiva de agua destruye las baterías que no tienen orificios para agregarles agua. Por este motivo no es recomendable aplicar una carga de igualación a este tipo de baterías.

4.9. Especificación de baterías

La Tabla 4 resume las características más importantes que se deben considerar para seleccionar una batería para un proyecto FV. El costo por A-h es tan sólo uno de los aspectos que se deben considerar. Debido a las particularidades de cada tipo de batería, se debe tener cuidado de obtener un regulador de recarga compatible. En la siguiente sección se habla sobre reguladores.

Tabla 4. Especificación de baterías

Tipo de batería	❑ Ciclo profundo ❑ Marinas	Las de ciclo profundo son las más indicadas. No se debe usar baterías de arranque (automotrices)
Mantenimiento	❑ Abiertas ❑ Selladas (libres de mantenimiento)	Las abiertas son mejores si se tiene cuidado de agragar agua
Capacidad	_____ A-h	Generalmente se especifica a 25°C y a un régimen de descarga de C/20
Vida útil	_____ Ciclos	Generalmente se especifica a 25°C y a una profundidad de descarga promedio de 50%. 1500 es es típico para ciclo profundo.
Tipo de terminales	❑ "X", "W" o "Z" ❑ "Y" o "V"	Los tipos "X", "W" y "Z" son recomendables porque permiten conexiones más confiables
Voltaje nominal	❑ 6V ❑ 12V	Las de 6 V deben instalarse en rupos de 2 en serie para obtener 12 V
Costo por A-h	_____ $/A-h	Para comparar opciones

4.10. Recomendaciones para el uso de baterías

Las baterías requieren atención especial para lograr una vida útil aceptable. También pueden causar contaminación y lesiones al personal. Para comenzar, se debe escoger una batería buena de ciclo profundo y un regulador de carga compatible de alta

calidad. Se debe seguir un régimen estricto de mantenimiento (agregar agua, controlar la corrosión, apretar las terminales, etc.). Sólo personal capacitado debe trabajar con las baterías. Se debe restringir el acceso a niños y se deben tomar medidas para evitar corto circuitos accidentales.

Figura 20. Una caja de plástico para alojar las baterías reduce el riesgo de accidentes y contaminación

En cualquier proyecto se deben considerar un programa para reciclar las baterías en forma segura. En cuanto a la operación cotidiana, lo más importante es evitar que las baterías se descarguen demasiado. Ninguna batería resiste descargas diarias muy profundas sin sufrir daños permanentes.

Las baterías se deben instalar en un lugar bien ventilado. Deben descansar firmemente sobre el suelo, pero no en contacto directo con el piso. Se pueden montar sobre piezas de madera u otro material no-metálico. El calor excesivo reduce drásticamente la vida de las baterías. Se deben instalar a la sombra y lejos de fuentes de calor como chimeneas, calentones, etc. En lugares donde la temperatura ambiente es muy elevada, se puede instalar las baterías en un hueco en el suelo, siempre y cuando queden accesible para mantenimiento y se pueda controlar la invasión por insectos. Siempre deben instalarse en recipientes de plástico o hule para contener derrames y para prevenir contacto accidental con las terminales. Los gases que despiden las baterías son corrosivos y por consiguiente se debe evitar instalar cualquier aparato electrónico (inversor, controlador, etc.) muy cerca de las baterías.

Es recomendable seguir un plan de mantenimiento como el que se muestra en la Tabla 5. Para evitar contaminación al destapar las celdas o añadir agua destilada, primero limpie las cubiertas de las tapas con una esponja humedecida con una solución de bicarbonato de sodio o polvo de hornear[11].

[11] Una cucharada de polvo de hornear disuelta en un litro de agua es una buena medida.

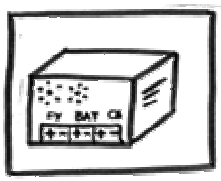
Tabla 5. Régimen de mantenimiento de baterías

Frecuencia	Acción
Diario	Verificar que el estado de carga con la ayuda de los indicadores del regulador
Mensual	Limpiar la cubierta; revisar el nivel de electrólito; agregar agua si es necesario
Trimestral	Apretar las terminales; aplicar aerosol anticorrosivo
Anual	Evaluar si las baterías están en buenas condiciones para suplir la carga

Figura 21. Operador midiendo la corriente de la batería. Esta batería no está instalada en un lugar apropiado

Nota importante: Antes de realizar cualquier mantenimiento de las baterías, asegúrese de tomar medidas razonables de seguridad. Para evitar cortocircuitos, aplique varias capas de cinta eléctrica a los mangos de las herramientas metálicas que va a utilizar. Protéjase del ácido, especialmente las manos y los ojos. Utilice guantes de goma y gafas.

5 Controles



Las baterías requieren protección contra sobre-recarga y contra sobre-descargas para que tengan una vida útil aceptable. Por las particularidades de cada tipo de batería, es importante seleccionar controles compatibles. Hay una gran variedad de controles disponibles, con confiabilidad y eficiencia algunas veces muy diferentes entre sí. Los controles frecuentemente tienen luces o pantallas que ayudan al operador a monitorear el funcionamiento del sistema. Con la práctica, los controles se pueden utilizar para diagnosticar problemas de bajo rendimiento o fallas en el sistema.

5.1. Tipos de controles

Hay dos tipos de controles: regulador de recarga y controlador de descarga, que protegen las baterías contra sobre-recarga y contra sobre-descarga, respectivamente. Algunos fabricantes integran las dos funciones de protección de las baterías en un solo dispositivo que se denomina "regulador con control de carga" o "regulador con LVD". Estos reguladores con control de carga son particularmente útiles en sistemas pequeños con cargas c.c. solamente, como es el caso de los sistemas básicos de iluminación rural. Puede ser difícil encontrar un regulador de este tipo con suficiente capacidad de salida para operar todas las cargas simultáneamente o para permitir el arranque de ciertos aparatos como televisores. En estos casos es necesario instalar un regulador de recarga y un controlador de descarga separados. La Figura 22 muestra un regulador con control de carga integrado.

Figura 22. Regulador con control de carga integrado

Los reguladores de recarga de más bajo costo contienen interruptores para desconectar las baterías de la fuente cuando hayan recibido suficiente carga. Los interruptores pueden ser relevadores (también llamados relés) electromecánicos o interruptores de estado sólido (electrónicos). Los de estado sólido son preferibles por ser más confiables y duraderos[12]. Además, los interruptores de estado sólido hacen posible implementar métodos de recarga más eficientes.

5.2. Voltaje y corriente

Los controles deben estar especificados para trabajar al voltaje nominal del sistema. Casi todos los sistemas FV pequeños trabajan a 12 ó 24 V. Los controles deben tener suficiente capacidad o amperaje para manejar la corriente de la fuente FV y las cargas. Como regla general, la corriente de entrada del regulador debe ser por lo menos 50% mayor que la corriente de corto circuito del arreglo FV. Si se prevé un aumento de la potencia del arreglo FV en el futuro cercano, esto se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar el regulador. De la misma manera, se recomienda que la capacidad de salida del controlador de descarga sea por lo menos 50% mayor a la corriente máxima de la carga.

Los controles consumen energía mientras estén conectados a las baterías, aún cuando no estén recargando las baterías o alimentando cargas. El auto-consumo se especifica como corriente de "standby". Esta corriente es del orden de 0.2 A para reguladores y LVD de hasta 30 amperes, pero puede ser más dependiendo del fabricante y del tipo de indicadores como pantallas o luces. Si el consumo es significativo, hay que tomarlo en cuenta en el dimensionamiento del arreglo FV.

[12] Los controladores de sobredescarga o LVD con relés electromecánicos son aceptables porque "estos se accionan con menor frecuencia que los los reguladores de recarga.

5.3. Operación

El método de recarga más común en sistemas FV pequeños es el de "encendido – apagado", que consiste en desconectar las baterías cuando el voltaje alcanza un voltaje máximo de recarga (aproximadamente 14.3 V para baterías de plomo-ácido) y reconectarlas cuando el voltaje baja a alrededor de 13.5 V. Una manera más eficiente de recargar las baterías es utilizando "modulación de duración de impulso" o PWM. Algunos fabricantes ofrecen reguladores de estado sólido con este método de recarga a precios razonables.

En cuanto al control de carga, el objetivo es asegurar que las baterías nunca se descarguen demasiado. La protección se logra desconectando las cargas cuando el voltaje baja a un nivel preestablecido. Esta operación se conoce como desconexión por bajo voltaje o "LVD" por sus siglas en inglés. En los sistemas FV pequeños, el voltaje de desconexión debe ser de 11.3 V a 11.5 V para una profundidad de descarga máxima de 80%. En algunos modelos de controladores, el punto de desconexión es ajustable. Es importante entender que el punto de desconexión por bajo voltaje corresponde a la máxima profundidad de descarga que la batería puede resistir unas cuantas veces por año, cuando ocurren varios días consecutivos de baja irradiancia. No se debe permitir que

las baterías lleguen a este voltaje diariamente porque su vida útil se acortaría.

Un problema común en los proyectos de desarrollo rural es que los usuarios conectan las cargas directamente a las baterías para poder extraer hasta el último ampere-hora disponible. Esta práctica, combinada con la utilización de baterías automotrices o de baja calidad, resultan en pocos ciclos de vida útil, y en consecuencia altos costos y acumulación de desechos tóxicos en las comunidades. En un programa de desarrollo, los usuarios deben entender claramente las consecuencias de hacer "conexiones brujas."

Todas las cargas del sistema, c.c. y c.a., deben ser alimentadas a través de un interruptor por bajo voltaje o LVD. La mayoría de los inversores[13] tienen un LVD integrado, pero el punto de desconexión es generalmente 10 V a 10.5 V, y no es ajustable. Este voltaje corresponde a una batería totalmente descargada y por consiguiente no brinda una protección adecuada contra la sobre-descarga. Lo correcto es alimentar el inversor a través de un LVD separado con un punto de desconexión de por lo menos 11 V.

5.4. Opciones

Además de protección, es bueno considerar otras opciones disponibles para reguladores y controladores. La mayoría de los controles vienen con indicadores del estado de carga de la batería ("cargada", "descargada", etc.). Los indicadores pueden ser luces de colores o medidores de voltaje análogos o digitales. Algunos controles también tienen medidores de corriente. La mayoría tienen algún tipo de alarma audible para indicar que las baterías están cerca del punto de desconexión por bajo voltaje.

Los reguladores y controladores deben tener algún tipo de protección contra sobre-corriente (fusibles) para evitar daños en caso de ocurrir un corto circuito. Algunos reguladores de estado sólido limitan la corriente en forma electrónica en vez de fusibles. También se recomienda que los controles estén protegidos contra polaridad invertida porque no es muy difícil equivocarse al momento de instalarlos. Algunos modelos tienen un interruptor que permite desconectar fácilmente las cargas para mantenimiento y reparaciones. Compensación por temperatura es otra opción recomendable, especialmente si las baterías van a operar a temperaturas por encima de 35°C o por debajo de 15°C. Algunos modelos de reguladores se pueden programar para aplicar una carga de igualación a las baterías periódicamente. Esta función sólo se recomienda para baterías de plomo-ácido abiertas (con electrólito

[13] Un inversor se usa para alimentar cargas c.a. a partir de c.c.

líquido). Otra opción interesante para reguladores es el rastreo de máxima potencia del arreglo. lo cual les permite operar el arreglo FV en su punto de mayor potencia independientemente del voltaje de las baterías. Esta opción generalmente no está disponible en reguladores para sistemas de menos de 1,000 W.

5.5. Especificación de controles

Para tomar una decisión informada sobre el tipo de regulador y controlador adecuado, es bueno recabar y considerar detenidamente los datos de la Tabla 6. Los parámetros más importantes son el amperaje y la compatibilidad con el tipo de baterías. Se debe procurar instalar reguladores de carga de estado sólido para mayor confiabilidad. Se debe escoger un controlador de descarga o "LVD" integrado con suficiente amperaje para operar las cargas.

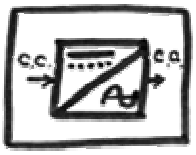
5.6. Instalación y mantenimiento

Los controladores y reguladores deben instalarse firmemente en un sitio con buena ventilación, sin que queden expuestos a los rayos solares. Deben quedar en una posición accesible para la inspección y el mantenimiento por parte del operador del sistema. Nunca se deben instalar muy cerca o en el mismo compartimiento de las baterías, porque el gas que despiden las baterías es corrosivo. Es necesario mantener las terminales apretadas, limpias y libres de corrosión. Si el regulador no entrega corriente a las baterías o el controlador no alimenta las cargas, investigue y corrija la causa del problema antes utilizar el sistema nuevamente. Asegúrese que las baterías estén bien conectadas, que el voltaje sea adecuado (menos de DAV pero mayor que DBV) y que no hayan cortocircuitos en el sistema. Posiblemente se tenga que cambiar un fusible o reemplazar el aparato.

Tabla 6. Especificación de controles

Voltaje	_____ V	Debe ser compatible con el voltaje nominal del sistema (12 V, 24 V, etc)
Corriente de entrada	_____ A	Debe ser 50% mayor que la Isc del arreglo
Corriente de salida	_____ A	Debe ser 50% mayor que la corriente máxima de la carga, tomando en cuenta la corriente de arranque
Tipo de batería	❑ Selladas, libres de mantenimiento ❑ Inundadas abiertas	Los puntos de fijación deben ser compatibles con el tipo de batería
Tipo de relevadores	❑ Electromagnéticos ❑ Estado sólido	Los de estado sólido son recomendables para el regulador de recarga
Método de recarga	❑ PWM ❑ On—off	Los de modulación de duración de pulso (PWM) son mejores que los de encendido—apagado (on-off)
Protección	❑ Contra sobrecorriente ❑ Contra polaridad invertida	Estas protecciones previenen daños accidentales al controlador durante la instalación, operación y mantenimiento
Opciones	❑ Luces ❑ Alarma ❑ Voltímetro ❑ Interruptor ❑ Compensación por temperatura	Se requiere de algún tipo de indicador de estado de carga de las baterías. Otras opciones pueden ser útiles, pero no son indispensables

6 Inversores



Los inversores transforman la electricidad de corriente continua (c.c). a corriente alterna (c.a). El arreglo FV y las baterías operan en corriente continua (c.c.) Con frecuencia sólo se requiere alimentar luces, radios y televisores pequeños que son compatibles con c.c. Estas cargas se pueden alimentar de las baterías, a través de un LVD. En este tipo de sistemas no se necesita un inversor.

Los inversores son una opción interesante debido a la gran variedad de aparatos de bajo costo que funcionan con c.a. Sin embargo, es recomendable operar la mayor parte de las cargas (o la totalidad si es posible) con corriente continua. Esto evita la pérdida de energía que ocurre en el inversor. Sin embargo, aparatos como televisores a color, video-grabadoras, impresoras y receptores satelitales trabajan solamente con corriente alterna. Si se van a utilizar este tipo de aparatos, es necesario instalar un inversor.

Figura 23. Inversor típico

6.1. Tipos de Inversores

La corriente alterna que producen los inversores puede ser de onda cuadrada, senoidal modificada o cuasi-senoidal, ver Figura 24. Los inversores de onda cuasi-senoidal tienden a ser de mejor calidad y eficiencia, pero cuestan el doble o más que los de onda senoidal modificada o cuadrada. La señal de onda cuadrada puede ser perjudicial para la operación de algunos aparatos electrónicos por la alta distorsión armónica del voltaje. La mayoría de los inversores disponibles en el rango de menos de 50 W a 1,000 VA son de onda senoidal modificada y son apropiados para casi todas las cargas c.a. Se pueden conseguir inversores de este tipo con baja distorsión armónica, alta eficiencia y buena calidad.

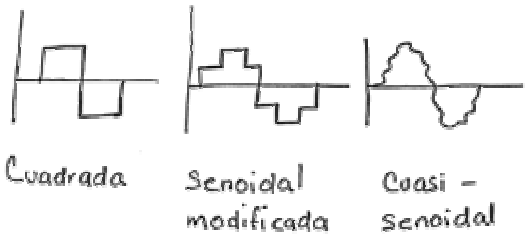


Figura 24. Tipo de onda

Todos los inversores emiten ruido electromagnético. Este ruido puede causar interferencia con aparatos de sonido y video.

Para reducir este efecto, simplemente instale el inversor lejos de estos aparatos sensibles. Otra manera de atenuar el ruido electromagnético es hacer una buena conexión del chasis del inversor a tierra.

6.2. Voltaje, corriente y potencia

El voltaje de alimentación en c.c. debe corresponder al voltaje de las baterías (12 V, 24 V, etc.). Los inversores de menos de 1,000 VA son de 12 V o 24 V c.c. El voltaje de salida es 120 V c.a., 60 Hz, que es compatible con la electricidad de la red convencional. En gran parte de Sudamérica y muchas otras partes del mundo lo usual es 220 V c.a. y 50 Hz.

Técnicamente, la capacidad de salida del inversor se expresa en Voltios-Amperes (V-A) y no en Watts. Sin embargo, si se están alimentando cargas como aparatos electrónicos, la capacidad en W es prácticamente equivalente a la capacidad en V-A. Generalmente se dan dos especificaciones para la capacidad de salida: la capacidad continua y la capacidad de arranque. La capacidad continua debe ser suficiente para operar todas las cargas c.a. a la vez. Durante el arranque, aparatos como televisores e impresoras demandan una potencia en V-A varias veces mayor que la potencia continua. Esta demanda sólo dura un periodo corto de tiempo. Los inversores tienen una capacidad de arranque de 2 ó 3 veces mayor que la capacidad continua para estas situaciones. Si en algún momento se exceden la capacidad de salida, el inversor se auto-protege desconectando las cargas. Por lo general se requiere un restablecimiento manual o reemplazo de un fusible para que el inversor vuelva a trabajar.

Debido a que los inversores se conectan directamente a las baterías, es necesario instalar un dispositivo contra sobre-corriente (fusible o interruptor automático) entre las baterías y el inversor. Los fabricantes por lo general especifican el amperaje y tipo de este dispositivo.

6.3. Eficiencia

En la conversión de c.c. a c.a. se pierde energía en forma de calor. A mayor carga, mayor es la energía que se pierde. Los inversores de menos de 1,000 V-A tienen una eficiencia de tan sólo 80 a 85% trabajando a plena capacidad.

Un hecho importante que con frecuencia se ignora es el consumo energético de los inversores cuando no están alimentando cargas c.a. pero están conectados a las baterías. Este consumo en "standby" se debe a los indicadores (luces y pantallas) y otros procesos internos. Los inversores de menos de 1,000 V-A pueden consumir de 4 a 7 W en "standby". Esta cantidad es significativa en

los sistemas FV pequeños como se ilustra en el siguiente ejemplo. Para ahorrar energía, es recomendable desconectar el inversor de las baterías cuando las cargas c.a. no estén en uso.

Ejemplo: En una telesecundaria, las cargas c.a. operan 4 horas diarias por 5 días a la semana. Asumiendo una potencia de 150 W, la demanda energética semanal es de 3,000 W-h. Si el inversor consume 6 W en standby y se deja conectado a las baterías todo el tiempo, se desperdiciaría cerca de 900 W-h adicionales por semana. Esto significa que el arreglo FV tendría que producir 30% más de energía.

6.4. Opciones

Todos los inversores vienen con algún tipo de indicador (generalmente una lámpara LED) que muestra si la fuente de alimentación (baterías) está conectada. También tienen un indicador de sobre-carga o alta temperatura. Estos indicadores son accesorios estándares.

El circuito de desconexión por bajo voltaje (LVD) también es un aditamento estándar, pero como ya hemos indicado, posiblemente haya que complementarlo con un LVD externo.

Las entradas c.c. aceptan cables con o sin terminales. Ambos tipos son aceptables. En cuanto a la salida c.c., la mayoría de los inversores de menos de 1,000 V-A tienen uno o dos contactos c.a. íntegros que aceptan conectores comunes de dos o tres clavijas. Aunque estos conectores son más convenientes, de hecho son preferibles las que aceptan cables. En este caso se necesita instalar cableado y tomas separadas, pero es posible proteger los circuitos con métodos estándares aprobados.

La salida de algunos inversores está protegida mediante un dispositivo de interrupción de circuito por falla a tierra (ICFT o GFCI por sus siglas en inglés). El inversor de la Figura 23 tiene contactos de este tipo. Esta opción brinda seguridad adicional al personal que opera el sistema. Esta opción es recomendable si por la naturaleza de la aplicación (por ejemplo cerca del agua o en exteriores) existe un riesgo elevado de choque eléctrico.

6.5. Especificaciones de inversores

Para escoger el inversor para un proyecto, se debe considerar los parámetros que se muestran en la Tabla 7. Además del voltaje de entrada y salida requeridos, los datos más importantes son la capacidad (V-A) y el tipo de onda.

6.6. Instalación y mantenimiento

Los inversores deben instalarse firmemente en un sitio bien ventilado, sin que queden

expuestos a los rayos solares. La mayoría de los modelos tienen ventiladores y radiadores para disipar el calor. Es importante que no se bloquee el flujo de aire. Se debe procurar que el inversor no quede expuesto al ácido y gases corrosivos que despiden las baterías.

Todas las conexiones deben ser accesibles para inspección y mantenimiento. El operador raramente necesita intervenir en la operación del inversor. Si los aparatos de consumo c.a. no funcionan, se deben buscar fallas en el cableado o en los aparatos de consumo antes de buscar fallas en el inversor. El mantenimiento consiste en mantener las terminales apretadas, limpias y libres de corrosión..

Tabla 7. Especificación de inversores

Voltaje c.c.	_____ V	Debe ser compatible con el voltaje nominal del sistema (12V, 24V, etc)
Potencia nominal	_____ V-A c.a.	Debe ser por lo menos 50% mayor que la potencia nominal de todas las cargas c.a.
Potencia de arranque	_____ V-A c.a.	Debe ser mayor que la potencia máxima de arranque de las cargas c.a.
Protección	❑ Sobre-corriente ❑ Polaridad invertida ❑ Sobre-temperatura	Previenen daños accidentales al inversor durante la instalación, operación y mantenimiento
Tipo de onda	❑ Cuadrada ❑ Senoidal modificada ❑ Cuasi-senoidal	Los de onda cuadrada no son recomendables para alimentar motores o aparatos de video y sonido. Los de onda cuasi-senoidal son más caros, pero de mayor calidad
Tipo de contactos c.a.	❑ De clavija ❑ Terminales ❑ ICFT	Asegúrese de que hayan sificientes contactos y del tipo adecuado para los aparatos c.a. La protección que ofrecen los ICFT brinda mayor seguridad al personal que opera e sistema
Opciones	❑ Luces ❑ Alarma ❑ Pantalla ❑ LVD	Otras opciones pueden ser útiles

7 Cargas Eléctricas

El propósito de un sistema FV es alimentar las cargas eléctricas o aparatos de consumo. Estos aparatos son los que brindan el servicio que se requiere. Los usos típicos de los sistemas FV para educación incluyen iluminación, audio y video, recepción de señal de satélite, telefonía y computación.

7.1. Limitaciones y conservación de energía

Los sistemas FV se pueden utilizar para cualquier aparato electro-doméstico o de oficina siempre y cuando sean de bajo consumo. Se deben excluir inmediatamente aparatos como planchas, tostadoras, lavadoras, secadoras de cabello, aires acondicionado y estufas eléctricas.

Debido a las limitaciones del sistema, es muy importante que las cargas eléctricas sean lo más eficiente posible para lograr el beneficio esperado al menor costo posible. Por ejemplo, siempre se deben utilizar lámparas fluorescentes en lugar de incandescentes, impresoras de inyección de tinta en lugar de impresoras láser. A veces esto requiere una mayor inversión en el costo de los aparatos, o métodos no convencionales de manejo de las cargas.

Además, el operador del sistema debe manejar las cargas con la mayor eficiencia posible para asegurar el buen uso de la cantidad energía disponible. Como mínimo, se deben acatar las horas de uso diario asignadas en el diseño para cada aparato de consumo. Si no es posible controlar el uso de las cargas, es muy probable que el sistema no cumpla con los objetivos del proyecto.

7.2. Recomendaciones generales

En muchas zonas rurales, elementos como polvo, humedad, e insectos generalmente son más difíciles de controlar en interiores que en la zona urbana. Bajo estas condiciones, aparatos tan confiables como televisores pueden sufrir averías después de pocos meses de uso. El efecto de cualquier daño o desajuste se ve amplificado porque el acceso a partes de repuesto y servicio de reparación es mucho más difícil. Es por eso que cuando se instalen sistemas FV en zonas rurales se deben tomar medidas especiales para cuidar los componentes, incluyendo capacitación del operador y restricciones de acceso a personal no autorizado.

Primeramente, se deben colocar los aparatos en un mueble apropiado, donde no corran el riesgo de caerse. Nunca deben quedar

expuestos al sol, agua o a los gases corrosivos que despide la batería.

Pocas personas deben tener acceso irrestricto a los aparatos. Cuando niños o personal no capacitado operen los aparatos, una persona capacitada debe estar presente.

Se deben tomar medidas para desalentar el vandalismo. Esto incluye vigilancia constante y cuidado bajo llave cuando no estén en uso especialmente durante la noche y los fines de semana.

Los aparatos electrónicos requieren de flujo de aire en su interior para disipar el calor. Es importante no obstruir las ranuras de ventilación cuando los aparatos estén funcionando. En lugares muy húmedos, el riesgo de condensación durante la noche es significativo. La mayoría de los aparatos electrónicos toleran alta humedad, pero siempre es bueno consultar al fabricante. Algunos recomiendan dejar los aparatos conectados a la fuente de energía durante periodos de alta humedad para prevenir condensación. Cuando los aparatos no estén en uso, se deben cubrir para evitar acumulación de polvo en el interior. El polvo acumulado retiene humedad y puede iniciar un proceso de corrosión en las partes internas.

7.3. Iluminación

La iluminación es una de las aplicaciones más comunes de los sistemas FV independientes. Además del uso doméstico, ya es común encontrar lámparas en escuelas, centros de salud y centros comunales funcionando con energía solar.

Figura 25. La iluminación de buena calidad facilita el aprendizaje

Para ahorrar energía, sólo se deben encender las lámparas cuando no hay suficiente luz natural para trabajar. Las edificaciones rurales (escuelas, clínicas, centros comunales, etc.) deben diseñarse con ventanas amplias y así evitar la necesidad de iluminación artificial durante el día. A veces es factible realizar actividades en un horario que permita el aprovechamiento de la luz natural. La energía ahorrada con estas prácticas se puede destinar a usos más interesantes.

Las lámparas más comunes son las incandescentes y las fluorescentes. Las fluorescentes son mucho mejores para

sistemas FV porque su mayor eficiencia y durabilidad. Para producir la misma cantidad de luz, una lámpara incandescente consume cuatro veces más energía que una fluorescente. Las lámparas fluorescentes duran hasta de 10 veces más que las incandescentes si se operan apropiadamente. Las lámparas fluorescentes disponibles en el mercado ya no interfieren con la vista como los modelos de décadas pasadas.

Los diodos foto-emisores (LEDs) son otra alternativa atractiva por su larga durabilidad y alta eficiencia. En la actualidad, las lámparas de este tipo con suficiente luminosidad son difíciles de encontrar.

7.3.1. Lámparas fluorescentes

Todas las lámparas fluorescentes necesitan un balastro para funcionar. La lámpara y el balastro se instalan en una base o portalámpara, ver Figura 26. El ensamble de la lámpara, el balastro y la base se conoce como luminaria. Algunas luminarias pueden tener un interruptor integral o un difusor.

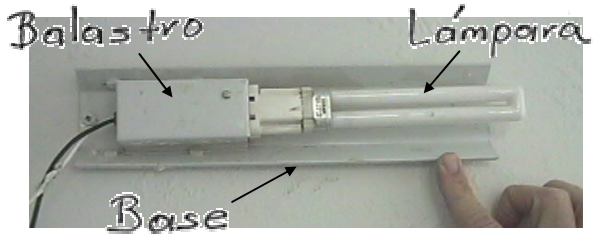


Figura 26. Lámpara fluorescente

Las lámparas fluorescentes pueden ser compactas (generalmente en forma de U) o tubulares. El principio de operación es el mismo. La lámpara contiene un gas que emite luz cuando se estimula con una corriente eléctrica. El balastro controla el proceso de arranque. Normalmente el arranque tarda uno o dos segundos. Sin embargo puede tomar más tiempo cuando la temperatura ambiente es baja. La temperatura baja también resulta en menor cantidad de luz.

Hay diferentes tipos de lámparas fluorescentes en cuanto a potencia, como se indica en la Tabla 8. Las lámparas de 9 W, 13 W y 20 W son las más comunes en los sistemas FV. La luminosidad en Lúmenes está relacionada con la potencia en Watts. Como punto de referencia, una lámpara de 15 W produce aproximadamente la misma cantidad de luz que una lámpara incandescente de 60 W. Vale mencionar que las lámparas de c.c. son idénticas a las de c.a.; sólo cambia el balastro.

Tabla 8. Tipos comunes de lámparas fluorescentes

Modelos comunes	Lumens	Potencia (W)	Tipo
PL-7	400	7	Compacta
PL-9	500	9	Compacta
PL-13	700	13	Compacta
F15T8	800	15	Tubular
F20T12	1250	20	Tubular
F40T12	2000	40	Tubular

Las lámparas fluorescentes son más eficientes que las lámparas incandescentes. La misma luminosidad, ver Tabla 8, se obtiene para cualquier lámpara fluorescente y una incandescente con 4 veces la potencia de dicha fluorescente.

7.3.2. Balastros

El balastro provee un voltaje de arranque para establecer el arco eléctrico dentro de la lámpara y controla la intensidad de la corriente para máxima eficiencia. Las lámparas y balastros siempre deben reemplazarse con repuestos del mismo modelo porque el balastro para cada tipo de lámpara es diferente.

Los balastros de alta calidad son una buena inversión. Sin embargo, un balastro defectuoso puede dañar una lámpara en cuestión de días. Se recomiendan aquellos que tengan protección contra alta temperatura, alto voltaje y corto circuito.

En condiciones típicas de sistemas FV de iluminación, se debe esperar que las lámparas tengan una vida útil de 3 años o más. El balastro tiene una vida útil similar. Cuando el balastro está defectuoso, la vida de la lámpara se reduce considerablemente. Los síntomas más comunes de fallas en el balastro o lámpara son ruido, parpadeo, manchas negras en el tubo y dificultad de arranque. Si la lámpara no está funcionando correctamente, la falla puede estar en e balastro. Antes de reemplazar la lámpara se debe verificar que el balastro esté trabajando correctamente.

7.4. Equipo de audio y video

Los televisores, video-grabadoras, radios y radio-grabadoras se usan mucho en las zonas rurales, no sólo para entretenimiento, sino también como apoyo en educación.

7.4.1. Televisores

Los televisores no tienen partes móviles y por tanto son muy confiables. Hay una gran variedad de modelos que operan con c.a. También existen unidades que operan a 12 V c.c., pero la selección en cuanto a tamaño de pantalla es mucho más limitada. Se pueden encontrar unidades de 12 V c.c. de hasta 19 pulgadas, algunos con video-grabadora integrada. Los televisores alimentados con c.c. y con video-grabadora integrada son una opción interesante porque requieren menor potencia y no necesitan un inversor.

El consumo energético de los televisores es una función del tamaño de la pantalla. La brillantez de la imagen, y en un menor grado el volumen, también afectan la demanda de potencia. Es difícil hacer generalizaciones en cuanto al consumo debido a que unos son más eficientes que otros. Algunos televisores consumen mucha potencia cuando están

apagados. Es bueno desconectarlos cuando no se estén utilizando.

El encendido de un televisor demanda una potencia de dos o tres veces más que la demanda de operación. A veces resulta que un inversor adecuado para operar el televisor no tiene suficiente capacidad de arranque. Siempre es recomendable probar que el inversor arranque el televisor de manera confiable y consistente.

7.4.2. Video-grabadoras

Dentro de la gran variedad de modelos de video-grabadoras disponibles, vale la pena seleccionar una unidad de buena calidad. A la larga, una unidad de bajo costo inicial puede costar mucho más por su menor confiabilidad y el mayor mantenimiento que requieren. La mejor manera de cuidar una video-grabadora es mantener las cintas libres de polvo y humedad. Esto evita que las cabezas de la video-grabadora se ensucien rápidamente. El operador siempre debe contar con un cartucho limpiador de cabezas a la mano. También se debe tener cuidado al meter el videocasete para no maltratar los componentes móviles.

La gran mayoría de las video-grabadoras consumen menos de 25 W en la operación. Sin embargo todas tienen relojes internos que consumen energía constantemente mientras están conectadas. Si el reloj no realiza una función crítica, se debe desconectar la video-grabadora cuando no esté en uso.

7.4.3. Radios y radio-grabadoras

Muchos radios y radio-grabadoras portátiles están diseñadas para operar tanto en c.a. como en c.c., utilizando pilas secas de tamaño "D" o "C". El costo de reemplazo de las pilas secas es muy elevado incluso comparado con el costo de la energía solar. Es factible alimentar cualquier radio o radio-grabadora con un sistema FV. Esto se hace conectando cables a las terminales apropiadas en el compartimiento que normalmente aloja las pilas. Esta solución no es muy elegante, pero es una forma más eficiente y menos costosa de operar una radio o radio-grabadora con un sistema FV. El voltaje requerido por estos aparatos puede varía de 3 a 12 V, dependiendo del modelo[14]. Existen convertidores de bajo costo que producen un voltaje variable a partir de 12 V para este propósito.

El consumo energético de una radio-grabadora portátil de doble bocina raramente excede los 20 W a todo volumen y con la casetera funcionando. Un consumo de 8 a 12 W es más típico. Si solamente se utiliza la radio a un volumen moderado, el consumo puede ser tan sólo 3 ó 4 W.

[14] Para determinar el voltaje, simplemente multiplique el número de pilas en serie por 1.5.

Hay que tener cuidado de proteger los audio-casetes de la humead y del polvo para asegurar un sonido de calidad y reducir la acumulación de impurezas en la cabeza de la radio-grabadora.

7.5. Equipo de recepción de señal de satélite

Estos aparatos se usan conjuntamente con una antena para recibir y/o intercambiar información a través de un satélite. La antena normalmente apunta a un satélite en particular y se requiere una suscripción o pago por el acceso al satélite para obtener el servicio. Los sistemas más sencillos sólo reciben la señal. Esto se puede hacer a costos relativamente bajos. También es posible transmitir información en la otra dirección. De esta manera se puede tener acceso a servicios como telefonía, internet o videoconferencias. El costo de este tipo de servicios es mucho más elevado.

La mayoría de los receptores satelitales convencionales sólo aceptan corriente alterna. Si se van a alimentar con un sistema FV, hay que incluir un inversor. En cuanto a la demanda energética es difícil hacer generalizaciones. Varios fabricantes recomiendan que se evite desconectar los receptores satelitales para no tener que re-programarlos o re-calibrarlos. Esto a veces significa que el sistema consume una cantidad significativa de energía aún cuando el servicio no se esté utilizando. Una unidad típica puede consumir alrededor de 60 W. Si esta demanda es continua durante todo el día, se necesitaría un sistema FV del orden de 600 W para abastecer la demanda de este aparato solamente. Se debe consultar al distribuidor o al fabricante antes de proceder con el diseño del sistema FV.

Un receptor satelital es más caro y difícil de reemplazar que un televisor o video-grabadora. Por consiguiente, hay que tener especial cuidado en su selección.

Figura 27. Telesecundaria con energía FV en Durango, México

7.6. Equipo de computación

Las computadoras se han venido introduciendo en escuelas rurales por muchos años. En muchos casos el uso de las computadoras no ha sido muy favorable porque se requiere de destrezas especiales para operar una computadora. A diferencia de los aparatos electro-domésticos, el

operador tiene la posibilidad de alterar el funcionamiento de la computadora. Esto da lugar a un sinnúmero de posibles fallas y desajustes que pueden ocurrir. Si se cuenta con la capacidad técnica necesaria localmente, las computadoras pueden ser una adición interesante al proceso educativo.

Una de las ventajas más claras de las computadoras es el acceso a información (incluyendo video) en formato digital, que casi siempre cuesta menos que material impreso o grabado en cintas magnéticas. Sin embargo, el atractivo más importante es preparar a los estudiantes en el uso de una herramienta indispensable en la sociedad.

Las plataformas PC con sistema operativo Windows[15] son las más usadas por ser menos costosas y ampliamente disponibles. El consumo energético varía mucho dependiendo del procesador del tipo de pantalla. Una máquina básica de modelo reciente consume alrededor de 130 W, incluyendo aproximadamente 80 W de una pantalla a colores convencional (de tubo). En cambio, las computadoras portátiles (laptops) consumen menos de 25 W en operación. Las portátiles tienden a ser más frágiles porque el operador debe manipular toda la unidad. Este es un riesgo grande porque las partes son más difíciles de obtener y raramente se pueden reparar localmente.

7.7. Datos de demanda energética

El diseño del sistema FV comienza con un inventario de las cargas. Como veremos más adelante, tanto el consumo en Watts como las horas de uso diarias de cada aparato afectan el tamaño y el costo del sistema FV. Los datos de placa no son muy confiables para establecer el consumo energético de los aparatos electrónicos. Estos aparatos casi siempre requieren menos potencia que la que se indica en la placa. La única manera cierta de saber es midiendo el consumo directamente. En la Tabla 9 se muestran demandas típicas para los aparatos de consumo más comunes en sistemas de educación a distancia.[16]

Tabla 9. Consumo típico de algunos aparatos eléctricos

Aparato	Potencia, W
TV (25" color)	120 *
TV (19" color)	80 *
TV (12" blanco y negro)	15 *
Recepor satelital	60
Video grabadora	25
Cd player	25
Radio grabadora c.a.	55
Radio grabadora c.c.	15
Radio teléfono	25
Lámpara fluorescente	15
Computadora (CPU solamente)	55
Continuación de Tabla 9	

[15] Windows es marca registrada de Microsoft Corporation

[16] Real Goods, Solar Living Source Book, 10th Edition

Monitor a color 15"	100
Monitor monocromático 14"	25
Computadora laptop	20
Impresora de inyección de tinta	35
Impresora laser	900
Fax (standby)	5

* Los televisores tienen una potencia de arranque de 2 a 3 veces mayor que la potencia de operación

8 Dimensionamiento y Estimación de Costos

En este capítulo se discute el procedimiento para estimar el tamaño del arreglo FV y la capacidad del banco de baterías. A esto le llamamos dimensionamiento. No se debe confundir los términos "dimensionamiento" y "diseño". El dimensionamiento es sólo una parte del proceso de diseño de un sistema. Para hacer un diseño completo se requieren conocimientos y experiencia más allá de lo que cubre este manual.

8.1. Dimensionamiento

El dimensionamiento de los sistemas FV independientes es un cálculo sencillo. Hay que tener presente que algunos parámetros como la irradiancia, la potencia de los aparatos y las horas de uso diario no son exactos. En algunos casos puede ser necesario tomar en cuenta el aumento de las cargas o de las horas de uso en el futuro. A pesar de toda esta incertidumbre, es necesario hacer un esfuerzo por justificar el tamaño del sistema a instalar debido a que los costos de inversión son elevados.

El dimensionamiento consiste en determinar el tamaño en Watts del arreglo FV y la capacidad en Amperes-Hora del banco de baterías. Con la experiencia, estos cálculos se pueden realizar rápidamente, pero para documentar el proyecto siempre es necesario seguir los siguientes pasos con detenimiento.

- Inventario energético del proyecto durante el mes o época crítica
- Cálculo del tamaño del arreglo FV
- Cálculo de la capacidad de las baterías
- Estimación de costos

El costo del sistema se puede estimar a grandes rasgos con base en estos resultados. Para continuar con el diseño, es necesario seleccionar los otros componentes del sistema como regulador de recarga, controlador de descarga, inversor, etc. También hay que seleccionar los componentes de enlace y protección, como cables, fusibles e interruptores. El diseñador se debe asegurar que los componentes son compatibles entre sí, y que son apropiados para el ambiente donde se van a utilizar. Parte de los requisitos de diseño están contenidos en las especificaciones técnicas que se incluyen en este manual.

8.1.1. Inventario energético

El inventario energético se puede hacer con ayuda de un formulario como el que se

muestra en la **Error! Reference source not found.**. Si la demanda cambia durante el año, es necesario hacer este cálculo para cada mes o para cada época del año porque el tamaño del arreglo FV depende también del recurso solar disponible. El mes o época de diseño es el mes donde la demanda energética es mayor con relación al recurso solar disponible. Esta determinación se puede hacer resumiendo la demanda del proyecto para cada mes o época, junto con el recurso solar correspondiente.

Después de listar los aparatos que se van a utilizar y el número de unidades, hay que anotar la demanda energética de cada uno. En el capítulo anterior se muestra una tabla con valores típicos de potencia (watts) que consumen estos aparatos. Es mejor utilizar valores de potencia medidos directamente porque pueden haber variaciones significativas en los productos de diferentes fabricantes. No se recomienda utilizar la información de placa de los aparatos porque casi siempre difieren del consumo real[17].

El siguiente paso es estimar las horas de uso diario y los días por semana. Se debe ser tener cuidado de asignar tiempos realistas. Si se considera mucho tiempo de uso, el sistema resultará innecesariamente grande y costoso. Si se consideran muy poco tiempo de uso, el sistema posiblemente no cumpla con el objetivo del proyecto. En los sistemas de educación a distancia, este es un paso muy importante porque el proceso educativo depende en gran medida de la disponibilidad del sistema.

Note que en el formulario, las cargas c.c. y las cargas c.a. se tratan por separado. La distinción es importante para determinar la configuración final del sistema y las características de componentes como el inversor. Los aparatos listados bajo "cargas c.c." se pueden alimentar directamente de las baterías, a través de un dispositivo de desconexión por bajo voltaje o LVD. Los aparatos listados bajo "cargas c.a." se tienen que alimentar con el inversor. Los inversores tienen una eficiencia de conversión del 80 al 85% aproximadamente. Por esta razón las demandas c.a. se dividen por 0.8 en el formulario para obtener la energía c.c. equivalente. Las demandas c.c. equivalentes deben sumarse para obtener la demanda total del proyecto. Este último valor es el que tiene que ser satisfecho por el sistema FV.

El tiempo de uso asume que los aparatos van a ser desconectados cuando no estén en uso. Recordemos que los aparatos electrónicos siguen consumiendo energía aún cuando están apagados, pero conectados a la fuente de potencia. El consumo en esta condición puede ser de pocos watts, pero la energía

[17] El consumo que aparece en la placa generalmente es mayor que el consumo real del aparato

desperdiciada a lo largo de un espacio de tiempo es considerable.

Se recomienda desconectar los aparatos c.a. del inversor cuando no estén en uso. Mejor aún, se debe desconectar el inversor de las baterías si no se necesitan cargas c.a. Esto también evita pérdidas en el inversor en condición de "standby". Si no es posible desconectar los aparatos por alguna razón, el consumo energético debe tomarse en cuenta de antemano.

Tabla 10. Inventario energético

Aparatos c.c.	Número de unidades	Consumo por unidad (W c.c.)		Consumo Subtotal (W c.c.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo promedio diario (W-h./día, c.c.)	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima a.c.(suma) ➜				A		Total c.c. (suma) ➜				B	

Aparatos c.a.	Número de unidades	Consumo por unidad (W, c.a.)		Consumo Subtotal (W, c.a.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo prom. diario (W-h./día, c.a.)	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima a.c.(suma) ➜				C		Total c.a. (suma) ➜				D	
Equivalente c.c. (= D × 1.2) ➜										E	
Demanda c.c. del Proyecto (= B + E) ➜										F	
Amperaje c.c. del Proyecto (= F ÷ 12)[a] ➜										G	

[a] Dividir por 24 en vez de 12 si el sistema es de 24 V.

Ejemplo: Una video-grabadora típica consume unos 5 W cuando está "apagada". Durante una semana, la energía consumida excede los 800 W-h, que es equivalente a dejar una lámpara fluorescente de 9 W encendida por más de 50 horas.

8.1.2. Cálculo del tamaño del arreglo fotovoltaico

El tamaño del sistema FV se puede estimar a partir de la demanda energética c.c. del proyecto y la insolación en el mes o época de diseño, utilizando la siguiente relación:

Tamaño Mínimo del Arreglo (W) = 2 × Demanda del Proyecto (W-h/Día) ÷ Recurso Solar (HSP)

El factor de 2 en esta relación se obtiene asumiendo un 20% de pérdidas en el módulo debido a que el voltaje de operación es diferente al voltaje óptimo del módulo y un 30% de pérdidas en la batería y demás componentes del sistema. La Demanda Diaria del Proyecto corresponde a la cantidad en la casilla "F" de la Tabla 10.

Es buena práctica agregar hasta un 30% a los Watts resultantes como factor de seguridad. Un arreglo FV de mayor tamaño es difícil de justificar, a menos que se considere un crecimiento de la demanda a futuro.

8.1.3. Cálculo de la capacidad del banco de baterías

La capacidad mínima del banco de baterías está dada por la siguiente relación:

Capacidad Mínima (A-h) = 1.5 × Amperaje del Proyecto (A-h) × Días de Autonomía ÷ PDD máxima (decimal)

El factor de 1.5 se debe a que aproximadamente 20% de los A-h generados por el arreglo FV se pierden por electrólisis (gaseo); el 30% restante es para compensar por la reducción de capacidad que sufren las baterías a lo largo de su vida. El Amperaje del Proyecto corresponde a la candidad en la casilla "G" de la Tabla 10. Los días de autonomía es el periodo de tiempo que las baterías pueden sostener la operación normal de las cargas sin recibir energía de los módulos. Esto se hace para cubrir periodos de tiempo muy nublados y para aumentar la confiabilidad del sistema. Por lo general se usan entre 2 y 4 días de autonomía en el diseño de sistemas FV independientes. La máxima profundidad de descarga (PDD) es la máxima profundidad de descarga permitida durante el periodo de autonomía. Para las baterías de ciclo profundo generalmente se usa 70%. Al igual que en el cálculo del arreglo FV, se recomienda agregar hasta un 30% adicional como factor de seguridad.

8.2. Estimación de costos

El costo de los sistemas FV independientes varía mucho por las condiciones del mercado local y la calidad del equipo que se va a utilizar. A grandes rasgos, un costo total de US$15 por watt FV instalado es razonable para un sistema de menos de 1,000 W FV. Sin embargo, los costos pueden oscilar entre US$10 y US$20 por Watt instalado dependiendo del tamaño del sistema, el lugar de la instalación y la calidad y capacidad de los componentes.

8.2.1. Caso de Estudio #1

Se pretende instalar un sistema de educación por radio en una comunidad de difícil acceso localizada en Los Valles de Veracruz en México. Dicho sistema debe ser diseñado para sostener un radio que opere por 4 horas diarias y 3 lámparas fluorescentes de 20 W por 1 hora, por 5 días a la semana. Se requieren por lo menos 4 días de autonomía. Dimensione el sistema FV y el banco de baterías.

Aparatos c.c.	Número de unidades	Consumo por unidad (W c.c.)		Consumo Subtotal (W c.c.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo promedio diario (W-h./día, c.c.)	
Radio-grabadora	*1*	×	*12*	=	*12*	×	*4*	×	*5*	÷7=	*34.3*
Lámparas	*2*	×	*20*	=	*40*	×	*2*	×	*5*	÷7=	*57.1*
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima c.c.(suma) ➜				A	*52*	Total c.c. (suma) ➜				B	*91.3*

Aparatos c.a.	Número de unidades	Consumo por unidad (W, c.a.)		Consumo Subtotal (W, c.a.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo prom. diario (W-h./día, c.a.)	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima a.c.(suma) ➜				C		Total c.a. (suma) ➜				D	*0*
										Equivalente c.c. (= D × 1.2) ➜	E	*0*
Demanda c.c. del Proyecto en W-h/día (= B + E) ➜										F	*91.3*
Amperaje c.c. del Proyecto en A-h/día (= F ÷ 12) ➜										G	*7.6*

En México los ciclos escolares van desde el mes de septiembre hasta junio. Enero se considera el mes de diseño por contar con la insolación menor durante el año. También se diseñará el sistema con un arreglo inclinado a la latitud. Un valor aproximado de la insolación para Veracruz se puede encontrar en la Tabla 1. Para el mes de enero se tiene una radiación de 4.4 HSP. Según la fórmula, el tamaño mínimo del arreglo es 2 × 91.3 ÷ 4.4 = 41.5 W. A esto es recomendable añadirle un 30%, resultando un arreglo (en este caso un módulo de alrededor de 54 W. En cuanto al tamaño de la batería, la fórmula es 1.5 × 7.6 × 4 ÷ 0.7 = 65.1 A-h. A esto es recomendable añadirle un 30%, resultando una batería de aproximadamente 85 A-h de capacidad.

8.2.2. Caso de Estudio #2

La telesecundaria "El Buen Porvenir" ubicada en una zona rural en San Salvador, El Salvador va a cambiar el sistema actual de generación de energía por un sistema FV. La carga existente corresponde a 3 lámparas fluorescentes de 15 W operando 2 horas diarias, una televisión 25" a color y una video-casetera operando 5 horas. Se requieren por lo menos 3 días de autonomía. Dimensione el sistema FV y el banco de baterías.

Aparatos c.c.	Número de unidades		Consumo por unidad (W c.c.)		Consumo Subtotal (W c.c.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo promedio diario (W-h./día, c.c.)	
Lámpara	*2*	×	*15*	=	*30*	×	*1*	×	*5*	÷7=	*21.4*	
		×		=		×		×		÷7=		
		×		=		×		×		÷7=		
		×		=		×		×		÷7=		
Demanda Máxima c.c.(suma) ➜				A	*30*		Total c.c. (suma) ➜				B	*21.4*

Aparatos c.a.	Número de unidades		Consumo por unidad (W, c.a.)		Consumo Subtotal (W, c.a.)		Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo prom. diario (W-h./día, c.a.)	
Videocasetera	*1*	×	*25*	=	*25*	×	*5*	×	*5*	÷7=	*89.2*	
Televisor de 27"	*1*	×	*120*	=	*120*	×	*5*	×	*5*	÷7=	*428.6*	
		×		=		×		×		÷7=		
		×		=		×		×		÷7=		
Demanda Máxima a.c.(suma) ➜				C	*145*		Total c.a. (suma) ➜				D	*517.8*
							Equivalente c.c. (= D × 1.2) ➜				E	*621.3*
Demanda c.c. del Proyecto en W-h/día (= B + E) ➜											F	*642.7*
Amperaje c.c. del Proyecto en A-h/día (= F ÷ 12) ➜											G	*53.6*

El diseño se hace para el mes de junio ya que la insolación es mínima, 4.8 HSP. Con una demanda diaria del proyecto de 642.7 W-h, se obtiene un arreglo FV mínimo de $2 \times 642.7 \div 4.8 = 267.8$ W. A esto es recomendable añadirle un 30%, resultando un arreglo (en este caso un módulo de alrededor de 348 W. La capacidad mínima del banco de batería de ciclo profundo es $1.5 \times 53.6 \times 3 \div 0.7 = 344.6$ A-h. A esto es recomendable aumentarle un 30%, resultando un banco de baterías de aproximadamente 448 A-h de capacidad.

8.2.3. Caso de Estudio #3

La telesecundaria "El Buen Porvenir" se va a equipar con una computadora para complementar la telesecundaria. La computadora debe funcionar 4 horas por día, 3 días a la semana. Se requieren por lo menos 3 días de autonomía. Dimensione el sistema FV y el banco de baterías.

Aparatos c.c.	Número de unidades		Consumo por unidad (W c.c.)		Consumo Subtotal (W c.c.)	Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo promedio diario (W-h./día, c.c.)	
Lámpara	*2*	×	*15*	=	*30*	×	*1*	×	*5*	÷7=	*21.4*
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima c.c.(suma) ➜				A	*30*	Total c.c. (suma) ➜				B	*21.4*

Aparatos c.a.	Número de unidades		Consumo por unidad (W, c.a.)		Consumo Subtotal (W, c.a.)	Horas de uso diario		Días de uso por semana		Consumo prom. diario (W-h./día, c.a.)	
Videocasetera	*1*	×	*25*	=	*25*	×	*5*	×	*5*	÷7=	*89.2*
Televisor de 27"	*1*	×	*120*	=	*120*	×	*5*	×	*5*	÷7=	*428.6*
Computadora	*1*	×	*120*	=	*120*	×	*4*	×	*3*	÷7=	*205.7*
		×		=		×		×		÷7=	
Demanda Máxima a.c.(suma) ➜				C	*265*	Total c.a. (suma) ➜				D	*723.5*
									Equivalente c.c. (= D × 1.2) ➜	E	*868.2*
									Demanda c.c. del Proyecto en W-h/día (= B + E) ➜	F	*889.6*
									Amperaje c.c. del Proyecto en A-h/día (= F ÷ 12) ➜	G	*74.1*

El tamaño del arreglo FV mínimo es 2 × 889.6 ÷ 4.8 = 370.7 W. A esto es recomendable añadirle un 30%, resultando un arreglo (en este caso un módulo de alrededor de 482 W. La capacidad mínima del banco de batería de ciclo profundo es 1.5 × 74.1 × 3 ÷ 0.7 = 476.4 A-h. A esto es recomendable aumentarle un 30%, resultando un banco de baterías de aproximadamente 617 A-h de capacidad.

9 Instalación, Operación y Mantenimiento

Todos los sistemas ensamblados en el campo requieren una instalación profesional y un programa de mantenimiento apropiado para su buen funcionamiento. Las fallas por mala instalación o mantenimiento deficiente incrementan los costos del proyecto y reducen el desempeño y la vida útil del sistema. Esto es más crítico en las áreas rurales porque el acceso a repuestos y servicio de reparaciones es más difícil y costoso.

9.1. Medidas de seguridad

A pesar del bajo voltaje, los sistemas pequeños de iluminación pueden causar daños a la propiedad y heridas serias si no se manejan con cuidado. Para evitar accidentes, las personas que instalan, operan, mantienen o reparan el sistema deben tener presente los posibles peligros asociados con el sistema FV.

Siempre que se trabaje con sistemas FV, es bueno seguir las siguientes recomendaciones generales:

- Entienda el funcionamiento del sistema
- Vista apropiadamente (guantes, gafas, zapatos)
- Repase periódicamente los procedimientos de emergencia
- Estudie procedimientos de primeros auxilios
- Restrinja el acceso a personas no capacitadas
- Coloque avisos sobre la posibilidad de lesiones

Los módulos pueden alcanzar temperaturas de hasta 70°C durante el día. Evite contacto prolongado con la piel. Los marcos de los módulos tienen bordes filosos que pueden causar heridas. Tenga cuidado al caminar cerca de los módulos.

La batería contiene ácido sulfúrico que puede causar quemaduras graves en la piel y ojos. Use siempre guantes de hule y gafas de protección cuando trabaje con baterías. Nunca intente abrir el recipiente de la batería o extraer el electrólito. Tenga cuidado al transportar baterías. En caso de ser expuesto al ácido, lave inmediatamente las partes afectada con mucha agua. Cuando hay derrame de electrólito, se debe neutralizar el ácido con bicarbonato de soda o polvo de hornear antes de limpiarlo.

Un cortocircuito en las terminales de la batería puede provocar heridas graves o daños a la propiedad. Nunca cortocircuite una batería. Debido a que las baterías están

conectadas directamente al regulador, tenga mucho cuidado cuando trabaje con las terminales del controlador. Las baterías de 12 V, que típicamente se utilizan en sistemas de iluminación, pueden descargar más de 6,000 A si se cortocircuitan en sus terminales. Esta corriente puede causar quemaduras graves, incendios y destrucción de terminales. Tenga cuidado de no dejar caer herramientas sobre las baterías. Use herramientas con mangos aislados. Para mayor seguridad, recubra las partes metálicas de las herramientas con cinta eléctrica aislante donde sea posible.

En condiciones normales de operación, un sistema de iluminación de 12 V representa poco riesgo de choque eléctrico. Sin embargo, las descargas atmosféricas pueden inducir voltajes muy altos en el sistema. Evite contacto con las partes metálicas del sistema durante tormentas eléctricas.

9.2. Instalación

Se requiere una persona con experiencia para hacer una instalación profesional y segura. Siempre se deben aplicar los estándares en los códigos nacionales eléctricos y de construcción. La instalación de cada sistema depende en gran medida de las condiciones del lugar del proyecto. Las recomendaciones más generales son:

- Planifique la instalación
- Tome medidas de seguridad
- Use herramientas apropiadas
- Haga conexiones eléctricas y mecánicas que duren 20 años
- Verifique la operación de los componentes

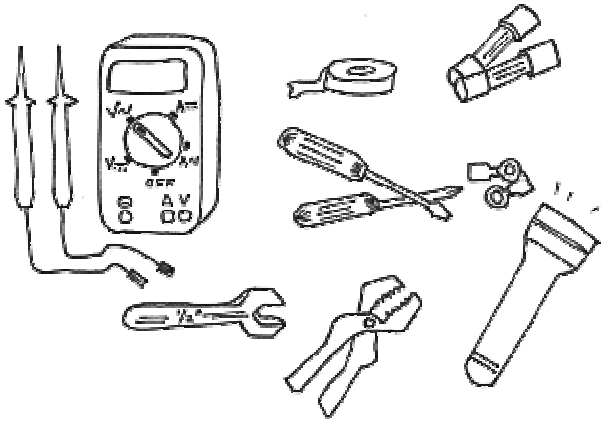


Figura 28. Adquiera y utilice las herramientas adecuadas

Muchos de los problemas en los sistemas FV tienen que ver con la poca atención que se le da a detalles como conexiones eléctricas y el montaje de los componentes. En el siguiente capítulo se presentan especificaciones para equipo y métodos; también se incluye un formulario que lista algunos puntos clave de la instalación que vale la pena verificar después de una instalación. Sin embargo cualquier instalación debe seguir métodos establecidos por los reglamentos de instalaciones eléctricas y mecánicas vigentes.

9.3. Operación y mantenimiento

El personal que va a interactuar diariamente con el sistema debe ser capacitado sobre los siguientes aspectos:

- Medidas de seguridad, especialmente con relación a las baterías
- Operación del sistema
- Métodos de conservación de energía
- Mantenimiento y diagnóstico básico

Una herramienta indispensable que debe suplir el proveedor del sistema es un Manual de Operación y Mantenimiento, donde se discuten por lo menos los puntos antes mencionados.

La mejor manera de asegurar una buena confiabilidad y rendimiento del sistema es llevando a cabo un mantenimiento rutinario. El mantenimiento rutinario consiste en inspeccionar periódicamente el sistema para detectar y corregir problemas como corrosión, invasión de insectos, malas conexiones eléctricas y componentes flojos antes que causen la interrupción del servicio eléctrico.

9.4. Diagnóstico y reparación

Eventualmente, el operador podrá hacer diagnóstico de fallas, ajustes o reemplazo de componentes. Sin embargo, es recomendable que el proveedor se encargue de este tipo de servicios durante los primeros meses de operación.

El rendimiento del sistema puede decrecer o interrumpirse totalmente por varias razones, incluyendo envejecimiento de la batería, fallas y desajustes de los componentes.

En ocasiones, la causa de los problemas resultan obvios; poca disponibilidad de sol, cables desconectados, lámparas quemadas, etc. Los usuarios deben ser capaces de reconocer y corregir estos problemas menores sin necesidad de recurrir al técnico o al proveedor. Otros problemas son más difíciles de corregir y requieren la visita de un técnico con más experiencia. Esta guía contiene dos procedimientos para diagnosticar y reparar problemas en sistemas FV independientes pequeños. La Tabla 11 muestra los pasos para detectar problemas menores y la Tabla 12 para resolver problemas más complejos.

Tabla 11. Diagnóstico de problemas menores

Condición	Causas y Acciones
Conexiones sueltas o flojas	Esta condición puede causar una interrupción total o parcial del servicio eléctrico. Las conexiones flojas eventualmente fallan. Reconecte o apriete las terminales. Es buena idea verificar que todas las terminales estén bien apretadas.
Orificios en las cajas de conexiones	Todas las cajas que contienen partes eléctricas deben estar selladas para evitar la entrada de agua, polvo e insectos. Selle los orificios con utilizando goma de silicón u otro material duradero.
Corrosión en las terminales y estructuras	La corrosión deteriora los contactos eléctricos y reduce el rendimiento del sistema. Remueva la corrosión de las conexiones eléctricas (en ocasiones es necesario soltar la terminal para limpiarlas).
Módulos sombreados o mal orientados	Los módulos entregan muy poca energía en presencia de sombras o cuando están mal orientados. Verifique que los módulos reciban pleno sol durante todo el día. El ángulo de inclinación no debe ser menor que (latitud - 15^{o}) ni mayor que (latitud + 15^{o})
Módulos rotos	Si el cristal del módulo está roto, es posible que el módulo funcione, pero representa un peligro de choque eléctrico y debe reemplazarse.
Corto circuitos	Corto circuitos ocurren a lo largo del cableado o dentro de algún componente o aparato de consumo. Corrija la causa del corto circuito y repare los daños. Tome medidas para evitar posibles cortos en el futuro. Si hay fusibles fundidos, no los reemplace hasta determinar la causa.
Aparatos de consumo defectuosos	Consulte el manual del aparato.
Fusibles fundidos	Si hay fusibles fundidos, identifique la causa antes de reemplazarlo. Puede haber una falla en los cables o en los aparatos de consumo. Reemplace el fusible con uno de equivalente especificación.
Batería descargada	Mida el voltaje en reposo de las baterías. La batería está descargada si su voltaje en reposo es menos de 11.5 V. Note el estado de las luces indicadoras de los controles. La baja carga puede ser el resultado de baja producción del arreglo FV, regulador defectuoso o demasiada demanda de energía.
Baterías secas	Las baterías de plomo ácido convencionales normalmente pierden agua durante su uso. Agregue agua destilada a las celdas si el nivel de electrólito es bajo. Limpie alrededor de las tapas antes de abrirlas. Tenga cuidado de agregar demasiada agua y no desbordar las celdas.
Baterías rotas	Las baterías pueden romperse o fracturarse por abuso físico o exceso de presión interna. Cuando esto ocurre, es necesario reemplazar la batería inmediatamente.
Polaridad invertida	Las el regulador, inversor y cargas c.c. no funcionan si se conectan con polaridad invertida. Revise la polaridad de las conexiones.

Tabla 12. Diagnóstico de otros problemas

Síntoma	Causas probables y acciones
El sistema opera muy poco tiempo	Pérdida irreversible de capacidad por envejecimiento. Es muy posible que éste sea el caso si las baterías tienen mucho tiempo de uso (1 año si es automotriz; 3 años si es de ciclo profundo). Reemplace la batería
	Pérdida temporal de capacidad descargas muy profundas. Asegúrese que todas las cargas se alimenten a través del LVD. Posiblemente se pueda recuperar la capacidad perdida. Intente aplicar una carga de igualación
	Aumento excesivo de la carga. Las baterías se descargan más rápidamente si la carga ha aumentado considerablemente. Reduzca la carga
	Batería defectuosa. Algunas baterías fallan internamente, impidiendo su funcionamiento adecuado. Reemplace la batería
El voltaje de la batería no llega a 14 V durante el día	Poca o ninguna corriente del arreglo. Esto puede ser causado por sombras, cables desconectados o cortocircuitos en el cableado del arreglo al regulador. Haga pruebas en un día soleado. Verifique el módulo y cableado hasta el regulador
	Regulador desajustado o defectuoso. El regulador puede fallar o desajustarse, resultando en carga insuficiente de la batería. Verifique la operación del regulador
La batería pierde mucha agua	Regulador desajustado o defectuoso o conexión directa del arreglo a las baterías. La batería pierde mucha agua si el voltaje es más alto que el recomendable (14.4 V). Asegúrese que el arreglo no esté conectado directamente a las baterías. Verifique la operación del regulador
	Batería con grietas o sin tapas.. Puede perder agua por derrame o por evaporación. Reemplace la batería si hay signos de grietas o rupturas del ebbase
Voltaje de la batería por debajo del punto de desconexión por bajo voltaje	Cargas conectadas directamente a la batería. Si hay cargas conectadas directamente a la batería (sin LVD), no es posible protegerlas contra sobre-descargas. Conecte todas las cargas a través del LVD
	Controlador desajustado o defectuoso. El controlador o LVD puede fallar o desajustarse. Verifique la operación del LVD
	Batería defectuosa. Cuando la batería tiene fallas internas, se descarga rápidamente aun cuando esté desconectada de la carga o protegida por un LVD. Reemplace la batería
La batería se descarga mucho durante la noche	Regulador defectuoso. El regulador debe desconectar la batería del arreglo FV durante la noche para prevenir el paso de corriente de las baterías hacia el arreglo. Verifique que el regulador se desconecta durante la noche
	Batería vieja o defectuosa. Cuando la batería viejas o con fallas internas se auto-descargan rápidamente Reemplace la batería
	Cargas conectadas durante la noche. La batería se descarga mucho si hay cargas conectadas durante la noche, aun cuando la carga es pequeña. Desconecte las cargas durante la noche
Lámpara fluorescente no trabaja bien	Tubo dañado. Esta condición ocurre por el deterioro de los filamentos internos del tubo o ruptura del tubo. A veces, un tubo quemado presenta manchas oscuras cerca de los extremos. Reemplace el tubo
	Balastro defectuoso. Cuando el balastro falla, el tubo no tiene posibilidad de arrancar. Si el balastro produce un ruido anormal, es muy probable que esté defectuoso. Reemplace el balastro
	Bajo o alto voltaje. Las lámparas fluorescentes no trabajan bien y tienden a fallar si el voltaje es muy bajo (menos de 11 V) o muy alto (más de 14.5 V). Verifique el voltaje de la batería

10 Documentos de Licitación y Especificación

En esta sección se incluyen ejemplos de documentos de licitación que pueden servir de guía para la realización de proyectos. Aunque estos documentos son genéricos en su mayoría, no se puede garantizar que se apliquen en todos los casos. En algunas partes se incluyeron cantidades y componentes específicos como ejemplo solamente. El proyectista debe modificar estos documentos para que se ajusten a los requisitos específicos del proyecto.

10.1. Solicitud de ofertas

1. Generales

Estas especificaciones tienen como finalidad normar los criterios de adquisición de equipo y otros servicios para un sistema FV para una [escuela, clínica, casa comunal] _____ ubicada en la Comunidad de _____, Municipio de _____, Departamento de _____. Las propuestas serán juzgadas de acuerdo a los siguientes criterios, en orden de importancia:

- Cumplimiento con las especificaciones técnicas sobre de componentes servicio post-venta
- Experiencia de la empresa en el ramo de energía renovable
- Costo total, incluyendo los servicios post-venta

2. Descripción de componentes y servicios

Se requieren los siguientes componentes principales y cantidades:

Cantidad	Componente
1	Arreglo FV, ____ W mínimo
1	Banco de baterías, _____ A-h mínimo
1	Controlador
1	Inversor, _____ W mínimo
#	Luminarias fluorescentes de ___ W c.c.

Además se requieren todos los componentes principales o menores necesarios para instalar el sistema de acuerdo a estas especificaciones técnicas, incluyendo cables, estructuras de montaje, interruptores, equipo de protección, tornillería, etc.

El proveedor del equipo deberá instalar el sistema, encargándose del traslado, ensamble y puesta en operación. El proveedor también entregará un manual del sistema, dará una capacitación al

operador y proveerá una garantía completa de la instalación por 18 meses. Estos servicios están descritos con mayor detalle en las especificaciones técnica.

Nota importante: Tanto los componentes como los servicios de post-venta deben atenerse a las especificaciones adjuntas a esta solicitud de cotización.

3. Requisitos de la oferta

- Datos generales de la empresa
- Lista de componentes, marca y modelo y costo desglosado
- Costo de servicios de post-venta
- Especificaciones técnicas de componentes mayores (módulo, batería, controlador, inversor)
- La oferta debe recibirse por correo, fax o personalmente antes de las 5 pm del día ____ del mes de _____ del año _____.
- La oferta y cualquiera pregunta técnica debe dirigirse a:

Agencia: _____ Responsable:_____

Dirección: _____ Teléfono y Fax: _____

10.2. Especificaciones técnicas para componentes

1. Generales

1.1 Todos los componentes deberán ser especificados para las condiciones de instalación en cuanto a voltaje, corriente, temperatura, humedad, etc.

1.2 Se deberá entregar especificaciones del fabricante para todos los componentes principales, indicando que cumplen o exceden estas especificaciones técnicas. En general se exige certificación de cada componente por un laboratorio independiente de prueba como UL, CSA, ETL, ANSE, CE

1.3 Si no es posible cumplir con todas las especificaciones de algún componente, el proponente deberá explicar las razones. En todo caso, se deberá demostrar que el componente propuesto cumple substancialmente estas especificaciones técnicas

1.4 En general se prefieren dispositivos con mayor eficiencia energética de operación

1.5 Todos los dispositivos deben instalarse de manera que queden protegidos contra abuso físico, polvo, calor, lluvia y humedad excesiva. Deben ser accesibles para inspección y mantenimiento

2. Módulos fotovoltaicos

2.1 Deberán de tener placa de datos eléctricos, con nombre del fabricante, números de serie y sellos de certificación reconocida, como UL, CSA, ETL o ANSE.

2.2 Deberán ser de por lo menos 48 W de potencia nominal

2.3 Deberán ser del mismo modelo y marca si se necesita más de un módulo

2.4 Deberán tener marco de aluminio

2.5 Si se necesita más de un módulo, cada módulo deberá tener un diodo de paso debidamente instalado en su caja de conexiones

2.6 Deberán tener una garantía del fabricante de por lo menos 20 años contra pérdida de eficiencia

2.7 Deberán tener una eficiencia mayor a 10%

3. Estructura de módulos FV

3.1 Deberá ser metálica y resistente a la corrosión, preferiblemente de aluminio.

3.2 Toda la tornillería y otros accesorios de montaje también deberán ser resistentes a la corrosión.

3.3 Deberá resistir ráfagas de viento de hasta 150 km/h con el arreglo FV instalado

3.4 Deberá permitir la libre circulación de aire por la parte posterior de los módulos

3.5 Deberá permitir la remoción de módulos individuales para inspección, mantenimiento o reemplazo

3.6 Deberá permitir la instalación del arreglo con inclinación a latitud hacia el sur, y de tal manera que se reduzca el riesgo de vandalismo o robo.

4. Regulador de carga

4.1 Deberá de tener placa del fabricante, con modelo, datos eléctricos (voltaje nominal, corriente máxima) y sello de certificación independiente reconocida, como UL, CSA, ETL o ANSE.

4.2 Deberá aceptar una corriente de entrada 1.5 veces mayor que la corriente en corto circuito del arreglo solar; en ningún caso podrá ser menor a 6 A

4.3 El regulador deberá ser de estado sólido, del tipo PWM (pulse width modulation)

4.4 Los puntos de fijación deberán ser los recomendables para el tipo de batería del sistema, preferiblemente compensados por temperatura

4.5 Deberá tener indicadores (led o pantalla) del estado de carga de las baterías

4.6 El controlador deberá evitar la descarga de baterías hacia los módulos durante la noche

4.7 Las conexiones al arreglo y al banco de baterías deben estar claramente indicadas en el chasis

4.8 Deberán tener una garantía del fabricante contra defectos de fábrica de por lo menos 1 año

5. Controlador de carga (interruptor de bajo voltaje o LVD)

Nota: Todas las cargas del sistema (c.a. ó c.c.) deberán alimentarse a través de un dispositivo que evite que las baterías se sobre-descarguen (desconexión por bajo voltaje o LVD). Algunos reguladores de carga e inversores tienen LVD integrado. Sin embargo, para cumplir con las especificaciones siguientes es posible que se necesite un controlador de carga (LVD) separado

5.1 Deberá tener capacidad de corriente es adecuada para operar simultáneamente todas las cargas del sistema y para el arranque de las mismas

5.2 Deberá desconectar las baterías a un voltaje no menor que 11.5 V

5.3 Deberá tener indicador (led) de la condición de desconexión por bajo voltaje

5.4 No deberá tener un medio fácilmente accesible (como botón de emergencia) para deshabilitar temporalmente o permanentemente la función del LVD

5.5 La conexión a las baterías y a la carga deberán estar identificada claramente en el chasis

5.6 Deberán tener una garantía de reemplazo contra defectos de fábrica de por lo menos 1 año

6. Batería

6.1 Deberán tener una etiqueta del fabricante con el tipo de batería, voltaje nominal y capacidad en ampere-hora

6.2 Deberán de ser de ciclo profundo y deberán tener una vida útil nominal de por lo menos 1500 ciclos a 20% de descarga

6.3 El voltaje nominal de cada batería deberá ser 6 ó 12 V

6.4 Cada batería deberá tener una capacidad nominal de por lo menos 85 A-h (tasa de 20 horas)

6.5 Deberán tener terminales para permitir conexiones atornilladas convencionales (no se permiten terminales de tipo automotriz)

6.6 Todas las baterías deben instalarse en un recipiente de plástico, con terminales inaccesibles a los niños, pero que permitan el debido mantenimiento por parte del operador

6.7 Si las baterías son de electrólito líquido abiertas, se deberá incluir un lote de agua destilada en botellas suficiente para reposición de agua durante los 12 meses de uso

6.8 Deberán tener una garantía de reemplazo contra defectos de fábrica de por lo menos 6 meses

7. Inversor

7.1 Deberá tener una potencia de salida continua 1.5 mayor que el total de las cargas c.a., pero en ningún caso menor que 500 W

7.2 Deberá suficiente capacidad de arranque (surge) para la carga con mayor potencia de arranque, asumiendo que las otras cargas están operando

7.3 Deberá tener un voltaje nominal de 120 V c.a. a 60 Hz de salida

7.4 Deberá tener un factor de eficiencia de por lo menos 90% a la potencia nominal

7.5 Deberá tener protección contra sobre corriente o corto circuito, y contra sobre-temperatura interna

7.6 Deberá tener un indicador (led) de estado de operación

7.7 Deberá tener un consumo en stand-by no mayor que 0.8 A

7.8 Deberán tener una garantía de reemplazo contra defectos de fábrica de por lo menos 1 año

8. Cableado

8.1 Todos el cableado debe estar etiquetado de fábrica con el tipo de aislante y el calibre del conductor

8.2 El dimensionamiento e instalación del cableado deberá cumplir la Norma Eléctrica vigente en cuanto a calibre, tipo de aislante, canalización y código de colores. Algunas sugerencias son:

8.3 Usar conductores resistentes a los rayos ultravioleta donde estén expuestos a la intemperie (por ejemplo, tipo USE-2 para interconexiones entre módulos)

8.4 Usar conductores resistentes a la humedad y al calor (por ejemplo THHW, XHHW, RHHW, RHW-2) en canalizaciones expuestas a la intemperie o enterradas, o en cableado interior

8.5 Se requiere que los conductores positivo y negativo de cada circuito estén agrupados en una canalización, excepto en las interconexiones de los módulos. Se permite el uso de cables de dos conductores (por ejemplo tipo NM) sin canalización adicional para circuitos de consumo c.c. o c.a. interiores, donde no estén expuestos a la humedad o a abuso físico

8.6 Los conductores deben tener suficiente capacidad de conducción de corriente para la corriente máxima del circuito, tomando en cuenta el tipo de aislante, canalización y temperatura de operación. Además la caída total de voltaje medida entre dos puntos cualesquiera del circuito c.c. no deberá exceder 3%. En ningún caso se deberá especificar conductores de calibre inferior a los siguientes:

Desde el	Hasta el	Calibre mínimo
Módulo	Módulo	10 AWG
Arreglo	Regulador	10 AWG
Regulador	Batería	10 AWG
Controlador	Inversor	10 AWG
Controlador	Cargas c.c.	12 AWG
Inversor	Cargas c.a.	14 AWG

8.7 Todas las conexiones eléctricas deberán tener alivio de tensión y alojarse en cajas accesibles para inspección y mantenimiento

9. Interruptores, interruptores, puesta a tierra, protección contra sobrecorriente y contra sobrevoltaje

NOTA: Salvo en casos mencionados explícitamente, se requiere incluir los componentes indicados por separado. Algunos interruptores automáticos pueden aplicarse el las secciones c.c. del sistema como dispositivos contra sobrecorriente e interruptores a la vez

9.1 Las baterías deberán tener un medio de desconexión y protección contra sobrecorriente

9.2 Se deberá instalar un sistema de puesta a tierra de los equipos. Todas las partes metálicas del sistema (tales como estructura del arreglo, marco de los módulos, gabinete del controlador, gabinete del inversor, gabinete de interruptores) deberán ponerse a tierra.

9.3 Se deberá instalar un dispositivo de protección contra rayos o supresor de picos en el circuito FV

9.4 Si el arreglo FV tiene 3 o más módulos FV en conectador serie, (i) deberá incluirse un interruptor del circuito FV y (ii) el conductor negativo del circuito c.c. deberá ser puesto a tierra

9.5 Si la potencia nominal de la carga c.c. excede 200 W, se deberá incluir un centro de carga c.c. para separar las cargas c.c. en dos o más circuitos individualmente protegidos contra sobre corriente. Siempre que sea posible, el amperaje de cada circuito no debe exceder 15 A

9.6 Si la potencia nominal de la carga c.a. excede 700 W, se deberá incluir un centro de carga c.a. para separar las cargas c.a. en dos o más circuitos individualmente protegidos contra sobre corriente. Siempre que sea posible, el amperaje de cada circuito no debe exceder 10 A

10. Otro equipo solicitado

10.1 Las lámparas deberán ser de tipo PL, de 13 o 15 W a 12 V c.c., protegidas contra corriente inversa, a prueba de insectos, resistentes a la humedad y con buena disipación térmica. El balastro debe tener una garantía de por lo menos 1 año

10.2 El televisor deberá ser a colores, de 27 pulgadas, de marca reconocida y de alta calidad, de modelo reciente

10.3 La video grabadora deberá ser de 4 cabezas, de marca reconocida y de alta calidad, de modelo reciente.

Nota importante: La TV y video-grabadora deben trabajar con el inversor propuesto para producir en una imagen clara, sin ruido visual o audible. El inversor también debe ser capaz de arrancar el TV sin que se sobrecargue.

10.3. Especificacón de servicios post-venta

1. Instalación

El proveedor deberá instalar el sistema en el plazo de 30 días a partir de la fecha de celebración del contrato. La instalación debe ser técnica y estéticamente profesional, y aplicando un alto estándar de ingeniería. La instalación será verificada de acuerdo al Protocolo de Inspección adjunto.

2. Manual del usuario

El proveedor proporcionarádos copias de un Manual del Usuario con la siguiente información:

- Datos del proveedor, incluyendo nombre del responsable y dirección de envío de quejas urgentes
- Declaración de garantías
- Recomendaciones básicas sobre seguridad, operación, mantenimiento rutinario y diagnóstico de fallas
- Lista de partes y refacciones
- Diagramas eléctricos y mecánicos sencillos
- Especificaciones técnicas de todos los componentes principales del sistema

Nota: Con excepción de las especificaciones técnicas, todo el manual deberá estar escrito en español y en lenguaje sencillo.

3. Garantía del sistema

Además de las garantías de fábrica de cada componente, el proveedor debe garantizar la instalación completa por un periodo de 18 meses. Esta garantía del sistema cubre (sin costo al cliente) cualquier reparación, ajuste, mantenimiento o reemplazo de componentes en caso de mal funcionamiento, corrosión acelerada, pérdida de estabilidad estructural o desajuste de puntos de fijación. El proveedor deberá responder (ajustar, reparar o reemplazar) en un plazo no mayor a dos (2) semanas a partir de la fecha de diagnóstico del problema. No se incluye en esta garantía daños por mal manejo, vandalismo o condiciones climatológicas severas.

4. Mantenimiento preventivo

El proveedor hará una visita de inspección y mantenimiento preventivo al sistema de 8 a 16 meses después de la fecha de instalación.

5. Capacitación del operador

El proveedor dará capacitación al usuario del sistema sobre medidas de seguridad, operación y mantenimiento básico del sistema (especialmente cuidado de las baterías) y diagnóstico de fallas comunes.

10.4. Protocolo de inspección

Datos Generales

Nombre del proyecto: _____ Ubicación: _____ Operador: _____

Proveedor: _____ Fecha de instalación: _____ Inspector: _____

Fecha de revisión: _____ Hora: _____ Lat/Long: _____

Propósito: ❑ Verificación de instalación ❑ Mantenimiento preventivo ❑ Reparación o reemplazo

Baterías

Marca/modelo: _____

Configuración: _____ S _____ P

Capacidad nominal: _____ Ah

Voltaje nominal: _____ V

Sí	No	
❑	❑	En buenas condiciones físicas
❑	❑	Instaladas en lugar estable y de manera permanente
❑	❑	En recipiente de plástico
❑	❑	Terminales de tornillo
❑	❑	Terminales y tapa limpias
❑	❑	Terminales bien apretadas
❑	❑	Terminales protegidas contra contacto accidental
❑	❑	Nivel de agua adecuado
❑	❑	Accesibles para mantenimiento
❑	❑	Medio de desconexión adecuado
❑	❑	Protección contra sobrecorriente adecuada
❑	❑	Hay agua destilada de reserva

Lámparas

Marca/modelo: _____

Potencia nominal: _____ W

Sí	No	
❑	❑	Encienden de manera rápida y confiable
❑	❑	Tubos libres de manchas oscuras
❑	❑	Operan sin parpadeo o ruido
❑	❑	Montaje firme y permanente

Modulos FV

Marca/modelo: _____

Configuración: _____ S _____ P

Potencia nominal: _____ W

Inclinación: _____

Orientación _____

Sí	No	
❑	❑	Módulos en buenas condiciones físicas
❑	❑	Libre de sombras (9am-5pm)
❑	❑	Buena inclinación y orientación
❑	❑	Estructura firme y permanente
❑	❑	Estructura metálica resistente a la corrosión
❑	❑	Marcos de módulos puestos a tierra
❑	❑	Cajas de conexiones selladas
❑	❑	Diodos de paso instalados
❑	❑	Conductores de tipo adecuado
❑	❑	Conexiones eléctricas apretadas
❑	❑	Conexiones con alivio de tensión adecuado
❑	❑	Entrada al interior protegida contra daño físico

Inversor

Marca/modelo: _____

Potencia nominal: _____ W

Sí	No	
❑	❑	Luces o indicadores funcionan
❑	❑	Conexiones eléctricas apretadas
❑	❑	Montaje firme y permanente
❑	❑	Conexiones protegidas contra contacto accidental

Regulador / controlador

Marca/modelo: _____

Voltaje nominal: _____ V

Amperaje nominal: _____ A

Sí	No	
❑	❑	En buenas condiciones físicas
❑	❑	Luces o indicadores funcionan
❑	❑	Conexiones eléctricas apretadas
❑	❑	Montaje firme y permanente
❑	❑	Conexiones protegidas contra contacto accidental
❑	❑	Baterías protegidas contra sobre descarga (hay LVD para cargas c.c. y c.a.)

Otros componentes

Sí	No	
❑	❑	Sistema de tierra adecuado
❑	❑	Partes metálicas del sistema conectadas a tierra
❑	❑	Cableado interior de tipo adecuado
❑	❑	Cableado interior en buenas condicones físicas
❑	❑	Hay protección contra rayos o picos
❑	❑	Hay medio de desconexión del arreglo FV si se aplica
❑	❑	Centro de carga y circuitos de consumo si se aplica
❑	❑	La instalación representan poco riesgo de accidentes para las personas
❑	❑	La instalación es estéicamente aceptable

Mediciones

Volt módulo (Voc): _____

Corriente módulo: _____

Volt. batería:_____

Corriente a la carga:_____

Irradiancia: _____

Situación del sistema

Sí	No	
❑	❑	Operando y/o instalado adecuadamente
❑	❑	Se le ha provisto del mantenimiento, ajustes y reaparaciones adecuados

Comentarios (use el reverso si es necesario)