

Energía Solar Fotovoltaica

Manual técnico para instalaciones domiciliarias

WWW.AUTOAPRENDIZAJE.INFO

TABLA DE CONTENIDOS

1.	PRÓLOGO	7
2.	GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	8
3.	CONCEPTOS BASICOS	11
3.1	¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR?	11
3.2	EL EFECTO FOTOVOLTAICO	11
3.3	POSIBILIDADES Y LIMITACIONES	12
3.4	UNIDADES EN ENERGÍA SOLAR	13
3.5	INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN	13
3.6	SOMBRAS Y REFLEJOS	14
4.	MEDICIONES DE ENERGÍA SOLAR	15
4.1	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	15
4.2	MIDIENDO LA RADIACIÓN TOTAL	15
4.3	MIDIENDO TEMPERATURA	16
4.4	CONCLUSIONES	17
5.	¿COMO OPERAN LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS?	18
5.1	MÓDULO O MÓDULO FOTOVOLTAICO	19
5.2	REGULADOR DE CARGA (CONTROLADOR DE CARGA)	20
5.3	BATERÍAS SOLARES	21
5.4	INVERSORES DE VOLTAJE	24
5.5	ADAPTADORES, CONVERTIDORES	24
5.6	CABLES ELÉCTRICOS	25
5.7	ESTRUCTURAS DE SOPORTE	26
6.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	27
6.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO SIMPLIFICADO	27
6.2	CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA	28
6.3	CÁLCULO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	28
6.4	CÁLCULO DE LA BATERÍA	29
6.5	CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA	30
6.6	CÁLCULO DEL INVERSOR DC/AC	30
6.7	CORRECTA DISPOSICIÓN DEL CABLEADO	30
6.8	SELECCIÓN DEL LUGAR DE UBICACIÓN, REQUERIMIENTOS	32
7.	INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	33
7.1	SELECCIÓN DEL LUGAR	33
7.2	INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS	33
7.3	INSTALACIÓN DEL REGULADOR	34
7.4	INSTALACIÓN DE LA BATERÍA	35
7.5	INSTALACIÓN DE LAS LUMINARIAS (CARGAS) E INTERRUPTORES	35
7.6	PREPARACIÓN DEL CABLEADO	36
7.7	INSTALACIÓN DEL REGULADOR	37
7.8	INSTALACIÓN DE LAS BATERÍAS	37
7.9	OPERACIÓN DE LOS DIODOS	38
7.10	EJEMPLO: SISTEMA DE BOMBEO SOLAR	38
8.	MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	41
8.1	MANTENIMIENTO DEL MÓDULO SOLAR	41
8.2	MANTENIMIENTO DEL REGULADOR	42
8.3	MANTENIMIENTO DE LA BATERÍA	43
8.4	MANTENIMIENTO DE LAS LUMINARIAS	45

ANEXOS	46
ANEXO 1: LEGISLACIÓN Y NORMATIVA Y RENOVABLE	47
ANEXO 2: ESTIMACION DE LA MEDIA MENSUAL DE LA RADIACION SOLAR DIARIA EN EL PERU	48

1. PRÓLOGO

El presente curso de **Energía solar fotovoltaica** ha sido diseñado especialmente para el Proyecto ID/772. En él se tratarán los aspectos teóricos y prácticos básicos de la tecnología fotovoltaica (FV), utilizando un lenguaje sencillo y acompañando cada tema con gráficos, tablas y fotos.

El objetivo principal del curso es poner a disposición de los estudiantes un conocimiento básico acerca de los fundamentos de la tecnología fotovoltaica a través de un enfoque práctico del tema, desarrollando únicamente los puntos más relevantes del aspecto teórico. De este modo, al finalizar el curso, el alumno habrá adquirido conocimientos acerca de la tecnología fotovoltaica, sus posibilidades, restricciones y aplicaciones. A su vez será capaz de dimensionar, instalar, inspeccionar y dar mantenimiento a pequeños sistemas fotovoltaicos. Por último, aprenderá a realizar mediciones y a detectar errores en el sistema.

¿Porqué estudiar energía solar?

La demanda mundial de sistemas solares fotovoltaicos (FV) ha crecido en forma sostenida a lo largo de los últimos 20 años. La necesidad de energía eléctrica barata y eficaz en zonas aisladas es el principal impulsor de la industria FV hoy en día. Esta tecnología es la opción más económica para una serie de aplicaciones. Estas incluyen sistemas aislados para cabañas y viviendas, ayuda para navegación, telecomunicaciones remotas, bombeo de agua, entre otras. Un ejemplo de un sistema FV se presenta en la Figura 1.

Se espera que ocurra un desarrollo significativo en la demanda de sistemas FV para hacer frente a la necesidad básica de electricidad de 2 mil millones de personas sin acceso a la energía convencional, sobre todo en zonas rurales y aisladas. Además de esta demanda, existe una necesidad de sistemas costo-efectivos fuera de la red eléctrica, que suministren energía en forma ambiental, sostenible y a largo plazo.



Fuente: www.tti.com.gt

Figura 1: Sistema solar doméstico

Las aplicaciones más conocidas de la energía solar fotovoltaica son:

- Calculadoras, juguetes
- Luces de señalización, luces de emergencia, balizas, lámparas portátiles
- Cercos eléctricos para ganadería o seguridad
- Cargadores de baterías
- Telecomunicaciones remotas
- Bombas para agua potable o irrigación
- Depuradoras de aguas residuales
- Sistemas de desalinización y potabilización de agua
- Refrigeradoras para vacunas
- Fachadas y casas con techos completos de módulos fotovoltaicos
- Generación de energía a gran escala conectada a la red

2. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Debido a la diversidad de especialidades técnicas que utilizan el presente manual, es necesario comenzar con una lista de definiciones que ayudarán a comprender mejor los términos técnicos utilizados.

1. *Arreglo solar*: Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.
2. *Caja de conexión*: Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.
3. *Carga*: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta opera.
4. *Celda solar o celda fotovoltaica*: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
5. *Celdas de película delgada*: Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.
6. *Condiciones de prueba estándar*: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 KWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1.5)
7. *Conexión a la red*: Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.
8. *Conexión en paralelo*: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.
9. *Conexión en serie*: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.
10. *Conductor eléctrico*: Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan "hilos" fabricados generalmente de cobre o aluminio.
11. *Consumo eléctrico*: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (KWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.
12. *Constante solar*: Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1.36 KW/m².
13. *Contador eléctrico*: Instrumento que mide la energía consumida. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Mide los consumos en KWh
14. *Capacidad instalada*: Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.
15. *Corriente alterna*: En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo)
16. *Corriente continua*: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.
17. *Corriente de corto circuito*: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.
18. *Corriente de máxima potencia*: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

-
19. *Cortocircuito*: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.
 20. *Curva I-V*: Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.
 21. *Diodo de bloqueo*: Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.
 22. *Diodo de bypass*: Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.
 23. *Eficiencia de la celda*: Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.
 24. *Factor de llenado*: Razón entre la máxima potencia y el producto de la corriente de corto circuito por el voltaje de circuito abierto. Mide la desviación de la curva I-V de la forma rectangular ideal de esta curva.
 25. *Gigawatt*: Mil millones de watts (1 GW = 1 000 000 000 W)
 26. *Horas de sol pico*: Número equivalente de horas a 1 kWh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.
 27. *Instalación eléctrica*: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.
 28. *Intensidad eléctrica*: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)
 29. *Interruptor*: Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.
 30. *Kilowatt*: Mil watts (1 KW = 1 000 W)
 31. *Masa de aire*: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.
 32. *Megawatt*: Un millón de watts (1 MW = 1 000 000 W)
 33. *Módulo o módulo solar fotovoltaico*: Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.
 34. *NOCT (Nominal Operation Cell Temperature)*: Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m² de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s, cuando la celda está en circuito abierto.
 35. *Potencia eléctrica*: Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el megawatt (MW)
 36. *Punto de máxima potencia*: Punto de la curva I-V en donde el producto I * V (potencia) tiene su valor máximo.
 37. *Radiación difusa*: Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.
 38. *Regulador de carga*: También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas.
 39. *Tensión eléctrica*: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)
 40. *Termocupla*: Dispositivo compuesto de dos alambres metálicos diferentes que sirve para medir temperatura, mediante una corriente eléctrica proporcional a la temperatura leída.

-
41. *Tierra (grounding)*: Conexión que se hace en la tierra para emplearla como retorno en un circuito eléctrico y arbitrariamente como punto de potencial cero.
 42. *Voltaje de circuito abierto*: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
 43. *Voltaje de máxima potencia*: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
 44. *Watt pico*: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m², 25°C y 1.5 de masa de aire)

Como referencia, también pueden utilizar los siguientes glosarios:

1. **Glosario Energético**, elaborado por Greenpeace de Argentina:
http://www.taller.org.ar/Energia/glosario_energia.pdf
2. **Solar Glossary of Terms**, elaborado por Energy Efficiency and Renewable Energy Information Center de USA:
http://www.eere.energy.gov/solar/solar_glossary.html

3. CONCEPTOS BASICOS

3.1 ¿Qué es la energía solar?

Es la energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados **fotones (luz)**, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

Sin la presencia del sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años. La energía eólica e hidráulica son generadas mediante procesos conducidos por el sol. La madera para combustible es obtenida de los árboles, los cuales no podrían crecer sin luz solar.

En este manual trataremos el tema relacionado con el uso directo de la energía solar: La conversión de la radiación solar en energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas y su aplicación práctica gracias a los sistemas solares fotovoltaicos.

3.2 El efecto fotovoltaico

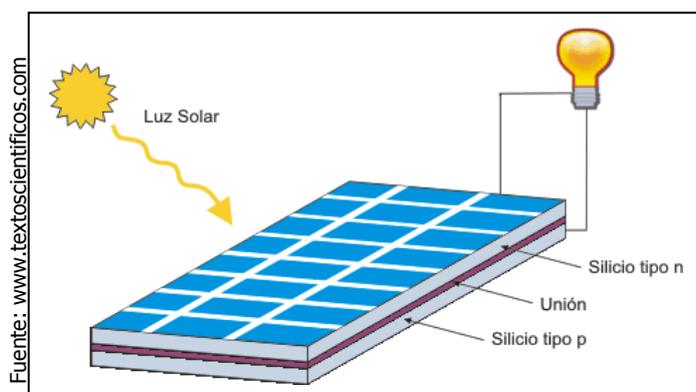


Figura 2: Puesta de sol

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica.

Figura 3: Esquema del efecto FV

La eficiencia de las celdas solares es determinante para reducir los costos de los sistemas fotovoltaicos, ya que su producción es la más cara de todo el sistema. El Cuadro 1 (página siguiente) muestra un panorama de las eficiencias alcanzadas en diversos tipos de celdas.

En el Perú, las principales tecnologías que se comercializan son: Módulos de silicio monocristalino, policristalino y películas delgadas de silicio amorfo.

Cuadro 1: Tecnologías importantes de celdas solares

Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13 – 15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12 – 14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	(8 – 11)
Películas de silicio cristalino sobre vidrio		Película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	13	6 – 9
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18	(8 – 11)
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	(7 – 10)
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO ₂ sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)	

Fuente: Green y otros, 1999.

3.3 Posibilidades y limitaciones

Una de las restricciones más importantes es **el precio**. Eso es lo que la mayoría de la gente piensa. Este curso pretende demostrar que el precio no es el único punto importante. A veces la confiabilidad, seguridad o confort pueden ser buenas razones para pagar más por un sistema fotovoltaico.

Cuadro 2: Panorama general del potencial y limitaciones de los sistemas FV

Sector	Potencial	Limitación	Resultados
Equipo e inversión	Flexibilidad: facilidad de aumentar de pocos a más watts pico (Wp)	Gastos elevados de inversión por unidad (Wp)	Los sistemas FV son competitivos sobre todo en el rango de poco consumo de energía en zonas alejadas sin electricidad. Necesidad de sistemas de financiación (debido a poca disponibilidad de capital en las zonas rurales)
Operación y mantenimiento	Fiabilidad: pocos gastos y poca necesidad de mantenimiento y supervisión	Necesidad de respaldo o almacenamiento para uso nocturno y en días nublados. La batería es el punto débil de los sistemas FV	Los sistemas FV a menudo son competitivos por la relación de su costo y duración
Organización	Integración fácil en “paquetes” de consumo adaptados a las necesidades del usuario	Una mayor participación del usuario es más necesaria en los proyectos de energía FV que en los de extensión de la red eléctrica	Necesidad de introducir cambios institucionales en el sector eléctrico para proyectos de electrificación rural con sistemas FV
Consecuencias ambientales	No perjudican al ambiente, emiten poco CO ₂ y otros gases, en comparación con los sistemas que consumen combustibles fósiles	La eliminación de baterías es un aspecto ambiental importante	Posible financiación conjunta de los programas interesados en el cambio climático

Fuente: Encuesta de la FAO y revisión bibliográfica de los autores

3.4 Unidades en energía solar

La radiación solar, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En el siguiente cuadro se da una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión.

Cuadro 3: Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica

Unidad	Explicación	Conversión
Potencia solar		
Wp	Watt pico	
W	Watt	-
KW	Kilowatt (1000 W)	-
W/m ²	Watt por metro cuadrado	-
		-
Energía solar		a KWh/m²
KWh/m ²	KWh por metro cuadrado	1
KJ/cm ²	KJ por centímetro cuadrado	2.778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0.2778
KCal/cm ²	1 000 Calorías por centímetro cuadrado	11.67
Btu/ft ²	Unidades térmicas británicas por pie cuadrado	0.0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0.0116

Ejemplo

Cuando queremos comprar un módulo FV, lo que debemos indicarle al proveedor es la **potencia** que necesitamos. La potencia eléctrica de un módulo FV se expresa en **Watt Pico (Wp)**. Esta medida nos dice que, en un día despejado y soleado, a las 12 del mediodía, un módulo de 50 Wp produce 50 W a luz solar plena, indiferentemente de dónde sea instalado. Esta potencia es medida en los laboratorios del fabricante y debe garantizar ese valor.

3.5 Inclinación y orientación

Muchos de los módulos FV están inclinados para coleccionar mayor radiación solar. La cantidad óptima de energía se colecciona cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de latitud.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el **ángulo mínimo de inclinación** debería ser de por lo menos 15° para asegurar que el agua de las lluvias drene fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo. A latitudes mayores (> 30° Norte o Sur), los módulos a veces están más inclinados sobre el ángulo de latitud para tratar de nivelar las fluctuaciones por estaciones.

Los módulos deben estar inclinados en la dirección correcta. Esto significa: en el hemisferio sur, los módulos están mirando exactamente hacia el Norte y en el hemisferio norte, los módulos están mirando hacia el Sur. Para saber dónde se encuentra el Norte y el Sur, se debe utilizar una brújula.

Por supuesto, algunas veces hay circunstancias locales que impiden la correcta colocación de los módulos. Por ejemplo, los módulos deben acoplarse sobre un techo inclinado que no tiene la inclinación adecuada y que no está mirando exactamente al sol.

En países cercanos al ecuador, las consecuencias de desviaciones de las inclinaciones óptimas son poco importantes. El ángulo de inclinación es pequeño, así que los módulos FV normales (normal = línea haciendo ángulo de 90° con el módulo) nunca se desvían mucho del ángulo promedio de incidencia sobre la radiación solar (que está cercana al Cenit sobre la superficie de la tierra). Aún así, de ser posible, es mejor dejar que los módulos miren al sol.

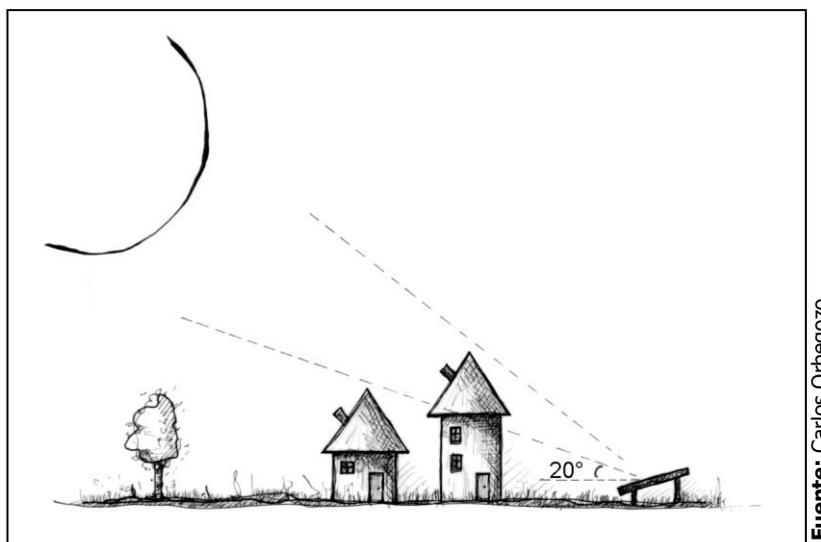
3.6 Sombras y reflejos

Es obvio que deben evitarse las sombras lo más posible. ¿Pero cuál es exactamente la influencia de un pequeño árbol al Este de un módulo FV?, ¿un edificio alto a 100 metros?, ¿o una pared detrás de los módulos?

Primero, uno debe considerar que la sombra puede crear problemas con **puntos calientes**. Suponga, que de una serie de celdas, una está en la sombra y las otras están en el sol. Las celdas que están en el sol producen corriente eléctrica que debe correr también por la celda que está en la sombra, la cual está actuando como una **gran resistencia**. Esta celda puede calentarse mucho por ese efecto.

En segundo lugar, cualquier sombra tiene su influencia negativa sobre el rendimiento de un sistema solar. Así que aún un árbol pequeño (además del hecho de que árboles pequeños se convierten en árboles grandes) puede tener una influencia sustancial sobre el rendimiento si está justo en el lugar equivocado. Como regla, la influencia de objetos en los alrededores puede descuidarse cuando el ángulo de la línea desde el módulo fotovoltaico hasta la cima del objeto con la horizontal es menor a 20° , así como lo muestra la siguiente figura.

Figura 4: Sistema solar y algunos obstáculos bajos



Entonces, la influencia de los obstáculos cercanos es importante. Lo que también es importante es que las circunstancias locales pueden cambiar: se construye nuevos edificios, árboles y arbustos crecen, nuevas fábricas se construyen botando humo y polvo, etc. Al escoger el lugar para un sistema FV, todos estos futuros cambios deben tomarse en cuenta, obviamente si es que pueden predecirse.

4. MEDICIONES DE ENERGÍA SOLAR

Para determinar el tamaño de un sistema FV, usualmente no es necesario medir la radiación solar porque los valores promedios se conocen para muchos de los lugares sobre la Tierra. Los valores promedios pueden usarse y esto es suficientemente exacto para los estudios de factibilidad. Sólo se deben considerar mediciones in situ cuando se realizan estudios de factibilidad para sistemas muy grandes que demandan grandes inversiones.

En el Perú tenemos ya un Atlas Solar, el cual nos da una primera aproximación de los lugares donde la radiación solar se puede aplicar. Para acceder a este Atlas, el enlace (link) es:

<http://dger.minem.gob.pe/atlassolar>

En esta sección aprenderemos a medir la radiación solar y a comprender las mediciones realizadas por terceros, ya que es lo primero que debemos hacer antes de dimensionar o instalar un sistema FV.

4.1 Instrumentos de medición

El instrumento que sirve para medir la energía solar es el **solarímetro**. Básicamente hay dos tipos de solarímetros: el **piranómetro** y el **medidor fotovoltaico**. Ambos tipos miden la radiación solar tanto directa como indirecta (difusa).

El **piranómetro** posee una pequeña plancha de metal negro en su interior, con una termocupla unida a ella. Esta plancha negra se calienta al sol y con la termocupla, el aumento de temperatura se puede medir. La plancha y la termocupla están cubiertas y aisladas por una cúpula de vidrio. La salida de la termocupla es medida para la radiación instantánea total en un momento dado.

El **medidor fotovoltaico** no es nada más que una pequeña célula fotovoltaica que genera electricidad. La cantidad de electricidad es medida para conocer la radiación instantánea. Estos medidores son mucho más económicos que los piranómetros pero menos exactos.



Fuente: www.arquimedes.tv

Figura 6: El medidor fotovoltaico



Fuente: vppx134.vp.ehu.es



Fuente: www.ufpel.tche.br

Figura 5: Modelos de piranómetro

4.2 Midiendo la radiación total

La radiación instantánea es útil para determinar el comportamiento de una instalación en cierto momento. Por ejemplo, al término de una inspección. La mayor parte del tiempo sin embargo, uno está más interesado en la radiación durante un período más largo; por día, por mes o por año. Especialmente si uno desea monitorear el comportamiento de un sistema en detalle, entonces será necesario medir la entrada y

salida del sistema por un período más largo (varios meses, un año). Sólo en esa forma los disturbios o problemas a corto plazo pueden reglamentarse y hacerse evaluaciones más exactas del comportamiento.

Una ventaja de los medidores fotovoltaicos es que también están disponibles con un integrador, para que la radiación total diaria u horaria pueda ser medida sin dificultad. Si se utilizan los piranómetros, esto no puede realizarse automáticamente. Si la insolación total por hora o por día es requerida, tendrán que utilizarse los **data loggers** (acumuladores de datos) para almacenar las mediciones instantáneas.

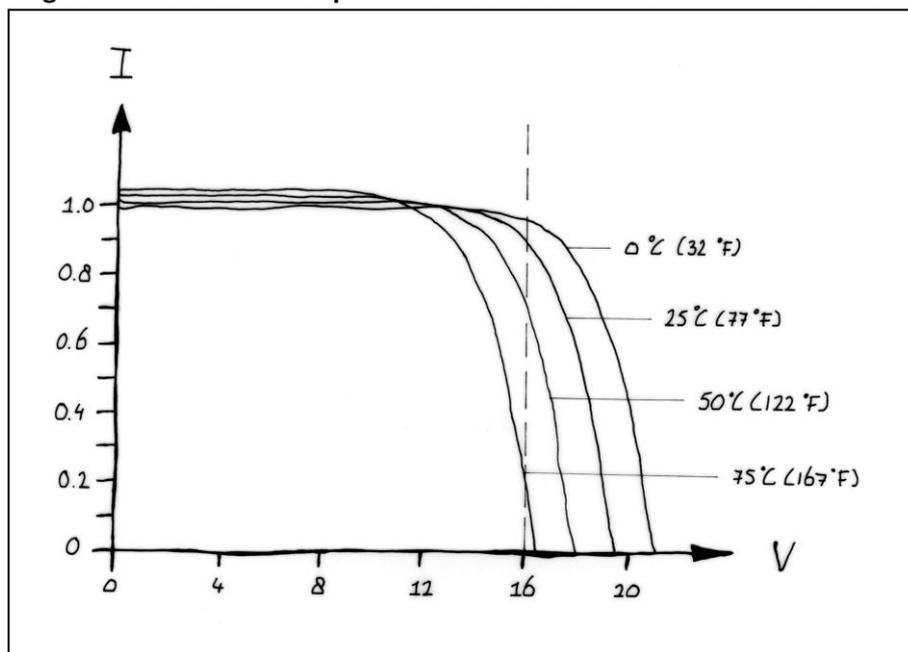
NOTA: ¡En un estudio de medición del recurso sol, la radiación solar debe medirse bajo el mismo ángulo en que están colocados los módulos!

4.3 Midiendo temperatura

La eficiencia de los módulos FV está influenciada por la temperatura de los módulos. A menor temperatura, mayor eficiencia. Por lo tanto, si se hace una evaluación detallada del funcionamiento del sistema FV, será necesario medir la temperatura de los módulos. También el aire puede medirse para tener un indicador de la diferencia de temperatura entre el aire ambiente y los módulos fotovoltaicos.

Estas temperaturas pueden medirse con un termómetro estándar como las termocuplas o termómetros infrarrojos (que funcionan bajo el principio de que la radiación de un cuerpo es proporcional a su temperatura)

Figura 7: Efecto de la temperatura de la celda en la curva I-V de un módulo



La figura anterior muestra la influencia de la temperatura en la eficiencia de celdas FV. Se demuestra que el efecto de la temperatura es pequeño pero no debe menospreciarse. En el gráfico, las eficiencias del módulo se dan para un rango de temperaturas desde 0° C hasta 75° C (ó 32° F hasta 167° F). El voltaje (V) cae con el aumento de la temperatura, mientras que la corriente (I) aumenta ligeramente. Para obtener la salida máxima a un voltaje de operación de aproximadamente 16V (que es lo usual), se debe mantener la temperatura de las celdas lo más baja posible.

Toma en cuenta que la temperatura dada es la temperatura de la celda y no la temperatura del ambiente. Las celdas, por ser azules, absorben una considerable cantidad de radiación que provoca un aumento en la temperatura de la celda (sólo una parte de la radiación es convertida en electricidad, el resto es convertida en calor o reflejada). En promedio, las celdas estarán 30°C más calientes que la temperatura del ambiente.

Para mantener las celdas frías, éstas deberían ser instaladas de tal manera que sea posible la libre circulación de aire.

4.4 Conclusiones

Para determinar y usar la radiación solar de manera óptima deben seguirse los siguientes pasos:

- a) Calcular el promedio diario de radiación en el lugar, utilizando los mapas o altas de radiación solar del mundo o, mejor aún, los datos de radiación de una estación meteorológica cercana. Para sistemas solares costosos o a gran escala, la radiación debería medirse preferentemente, por varios años.
- b) Determinar el ángulo de inclinación óptimo y la orientación para el lugar:
 - a. Inclinación = latitud, o
 - b. Inclinación = latitud + 5° para optimización, orientación norte

Angulo mínimo de inclinación: 15° (para que la lluvia y el polvo no se estanquen en el módulo)

- c) Calcular la influencia de sombras y reflejos. Si es necesario corregir el rendimiento de los módulos o buscar una mejor ubicación.

5. ¿COMO OPERAN LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS?

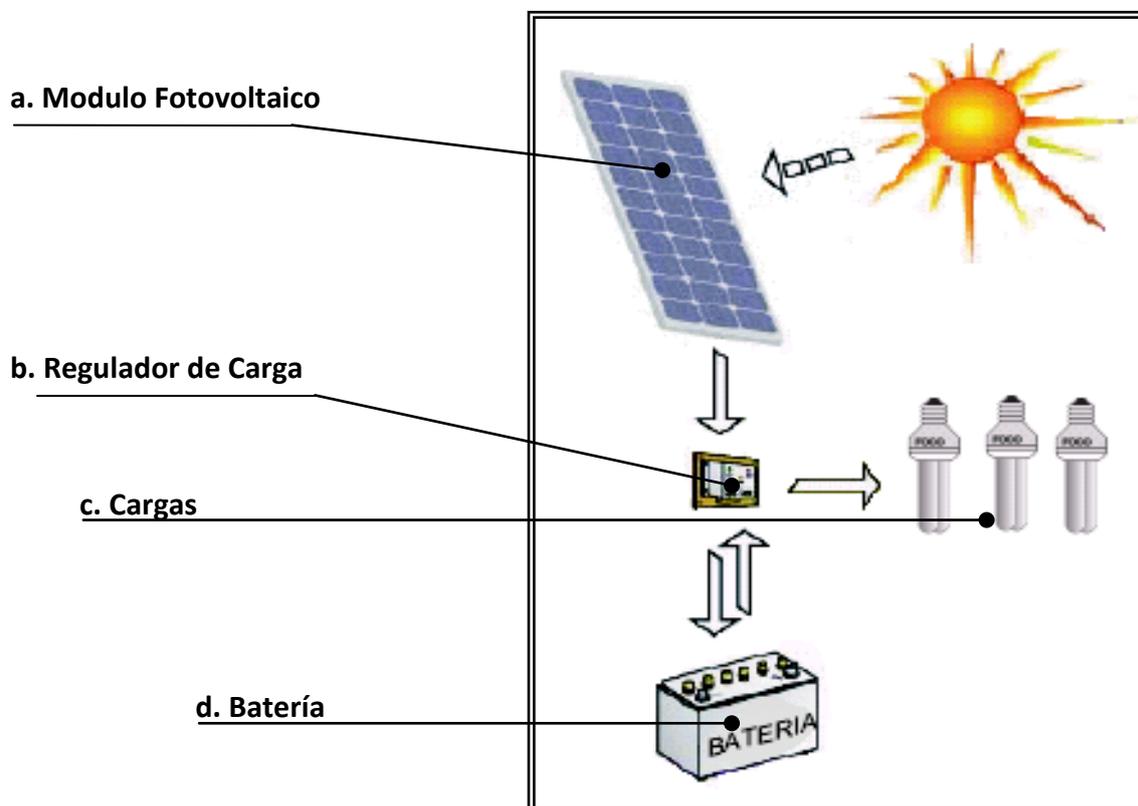
El Sistema fotovoltaico domiciliario (SFD), produce energía eléctrica directamente de la radiación solar. La función básica de convertir la radiación solar en electricidad la realiza el **modulo fotovoltaico**. La corriente producida por el modulo fotovoltaico es corriente continua a un voltaje que generalmente es de 12V (Voltios), dependiendo de la configuración del sistema puede ser de 24V ó 48V.

La energía eléctrica producida se almacena en **baterías**, para que pueda ser utilizada en cualquier momento, y no sólo cuando está disponible la radiación solar. Esta acumulación de energía debe estar dimensionada de forma que el sistema siga funcionando incluso en periodos largos de mal tiempo y cuando la radiación solar sea baja (por ejemplo, cuando sea un día nublado). De esta forma se asegura un suministro prácticamente continuo de energía.

El **regulador de carga** es el componente responsable de controlar el buen funcionamiento del sistema evitando la sobrecarga y descarga de la batería, proporcionando alarmas visuales en caso de fallas del sistema. Así se asegura el uso eficiente y se prolonga su vida útil.

El **Sistema Fotovoltaico Domiciliario (SFD)** permite la alimentación autónoma de equipos de iluminación, refrigeradores de bajo consumo, radio, televisor. Garantizando un servicio de energía eléctrica ininterrumpido, de larga vida útil y con el mínimo mantenimiento. Este sistema está conformado básicamente de un **modulo fotovoltaico** (generador fotovoltaico), **una batería** (sistema de acumulación), **un regulador de carga** (equipo de control) y **las cargas en corriente continua** (luminarias, Televisor etc.). A estos elementos hay que añadir los materiales auxiliares de infraestructura (cables, estructuras soporte, etc.).

Figura 8: Componentes de un SFD básico



5.1 Módulo o módulo fotovoltaico

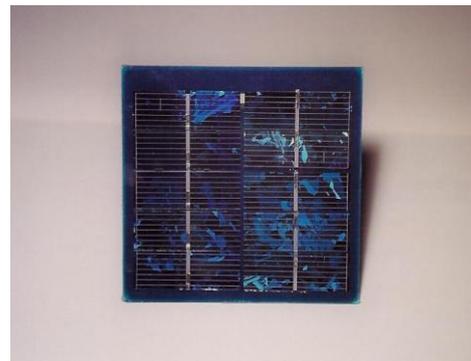
- Es un conjunto de celdas fotovoltaicas que sirven para transformar la radiación solar (luz solar) en energía eléctrica.
- Genera un voltaje y corriente requeridos por las cargas. Esta energía es de 12V DC (voltaje de corriente continua) para el uso de diferentes equipos, como radio grabadoras, lámparas, bombas de agua, televisores, etc.
- Si se utilizan artefactos eléctricos estándar, es necesario cambiar 12V DC a un voltaje mayor de corriente alterna 220V AC, que es el voltaje que utilizamos en las zonas urbanas.
- Todas las características básicas de un módulo fotovoltaico están señaladas bajo condiciones estándar (Radiación = 1 000 W/m², T = 25 °C):

Potencia Pico [Wp] = Máxima salida de potencia en Watts pico (por ejemplo: 36 Wp)

Corriente de cortocircuito [A] = Corriente entre los polos conectados de un módulo (por ejemplo: 2.31A para un módulo de 36 Wp)

Tensión de circuito abierto [V] = Voltaje entre los polos de un módulo sin carga (por ejemplo: 20.5V para un módulo de 36 Wp)

Figura 9: Tipos de módulos fotovoltaicos (monocristalino y policristalino)



Ejemplo

¿Cómo podemos saber, a primera vista, si un módulo FV está compuesto de silicio monocristalino o policristalino?

La superficie del silicio monocristalino es completamente negra o, en algunos casos, completamente azul oscuro (figura de la izquierda), mientras que el silicio policristalino presenta zonas negras y otras azules de diferentes tonalidades (figura de la derecha)

- Algunos ejemplos de fichas técnicas de módulos FV las podrá encontrar en:

1. http://www.solarworld.es/fileadmin/sites/solarworld-iberica/pdfs/SW_70-90mono_R5A_ES_Ansicht.pdf
2. <http://www.ekarat-solar.com/Catalog/catalog/Modules/70%2075%20Mar%2009%2000-EN.pdf>
3. http://www.isofoton.com/technical/material/pdf/productos/fotovoltaica/modulos/Manual-instalacion-modulos-fotovoltaicos_esp.pdf

5.2 Regulador de carga (Controlador de carga)

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga (TV, DVD, radio, lámparas, etc.). En general cumple las siguientes funciones:

- Dirige la electricidad generada en los módulos FV hacia el uso final si el tiempo de demanda de electricidad coincide con las horas de sol.
- Dirige la electricidad generada en los módulos FV hacia la batería, en caso que haya un exceso de potencia solar (la potencia generada es mayor que la demanda de potencia)
- Impide daños en los cables y evitar cortocircuitos en todo el SFD.
- Hace que la batería dure más tiempo.
- Protege y sirve para impedir la eventual corriente que pueda fluir de la batería hacia el módulo en periodos sin sol.
- Proteger la(s) batería(s) de los riegos de sobrecarga y descarga profunda, regulando la entrada de corriente proveniente del módulo a la batería y la salida de corriente de la batería a la carga (aparatos, equipos), evitando que la batería se sobrecargue o que trabaje con voltajes por debajo de lo permitido.

Figura 10: Reguladores o controladores de carga



Para elegir una unidad de control, deberás observar varios aspectos técnicos. Las características principales de la unidad son:

- Máxima corriente aceptada, proveniente de los módulos FV (por ejm: 5 A)
- Máxima corriente de suministro a la batería (por ejm: 5 A)
- Indicador de bajo voltaje de la batería (por ejm: LED)
- Indicador de carga solar (por ejm: LED)
- Voltaje de entrada de carga de batería (Depende del tipo de batería. Para una batería sellada, será de 13.3 - 14.0V)
- Voltaje de entrada de descarga (para una batería sellada, entre 11.4 y 11.9V)
- Tipo de regulación (estado sólido y con un relay)
- Dispositivo de reseteo (automático o manual)
- Protección eléctrica (fusibles para cortocircuito o iluminación)
- Protección contra polaridad inversa (fusible o diodo bloqueador)
- Voltajes de entrada regulables
- Su carcasa debe ser a prueba de agua (IP 10 o más)

Debe haber suficiente enfriamiento y ventilación para evitar el recalentamiento de los componentes. Las conexiones a la unidad de control deben hacerse de tal manera que los usuarios menos capacitados no puedan cometer errores fatales.

Finalmente, otro aspecto de las unidades de control modernas es el MPPT o máxima potencia del punto de tracción. Esto significa que el controlador determina el punto óptimo de trabajo de la curva FV; o sea, ¿qué voltaje operativo da la mayor eficiencia?

En el siguiente enlace (<http://www.morningstarcorp.com/en/support/library/SSMPPT.IOM.ES.01.pdf>) podrá descargar un manual técnico de instalación y funcionamiento de un regulador de carga.

5.3 Baterías solares

- La batería es uno de los componentes más importantes del sistema; tiene como función almacenar la electricidad generada por el módulo y suministrarla a los equipos cuando lo necesiten.
- Están diseñadas únicamente para utilizarla en sistemas fotovoltaicos.
- Es necesario proteger la batería colocándola sobre una base de madera e instalarla en un lugar protegido, ventilado y donde no le llegue el sol.
- Existen varios tipos de batería que puede servir para estos fines. En los sistemas fotovoltaicos se usa comúnmente las baterías de plomo-ácido.

Figura 11: Tipos de baterías solares



La acumulación de la energía sirve para:

- Almacenar el excedente producido en el día, para ser consumido en la noche.
- Tener una reserva que permite sobrepasar sin problemas varios días sucesivos de baja insolación (días nublados)

5.3.1 Capacidad de almacenamiento

Se denomina **capacidad** a la cantidad de energía que una batería puede almacenar. Por ejemplo, un tanque de agua con una capacidad de 8 000 litros puede almacenar como máximo 8 000 litros. Del mismo modo, una batería sólo puede almacenar una cantidad fija de energía eléctrica que por lo general figura en la parte exterior de la batería.

La capacidad de una batería se mide en **amperios-hora (Ah)**. Esto indica la cantidad de energía que puede generar una batería antes de descargarse completamente (observe que la unidad amperios-hora no es realmente una medida de energía; para convertir amperios-hora a energía en watts-hora, multiplíquelos por el voltaje de la batería).

Teóricamente, una batería de 100Ah deberá generar una corriente de 2A para 50 horas (es decir, 2 amperios por 50 horas es igual a 100 amperios-hora). Sin embargo, la capacidad de almacenamiento estimada es un parámetro general, y no una medida exacta, del tamaño de la batería; ya que la capacidad

cambia según la antigüedad y estado de la batería, así como según la velocidad a la que se sustrae la energía. Si la corriente se extrae rápidamente de la batería, su capacidad se reduce.

5.3.2 Carga, descarga y estado de carga

La **corriente de carga** es la corriente eléctrica de la que está provista una batería y que está almacenada en ella. Así como toma más o menos tiempo llenar un tanque de agua, dependiendo de la velocidad con que ingrese el agua, así el tiempo requerido para cargar completamente una batería depende de la magnitud de la corriente con la cual se carga.

Se puede determinar aproximadamente la cantidad de energía recibida por una batería (**Q**, en amperios horas), multiplicando la corriente de carga (**I**, amperios) por el tiempo de carga (**T**, en horas):

$$Q \text{ (cantidad de carga en Ah)} = I \text{ (corriente de carga en A)} * T \text{ (tiempo en h)}$$

Si se multiplica esta fórmula (Q) por el voltaje de batería, se obtendrá la cantidad de energía suministrada a la batería, expresada en watts-hora.

¡No se debe cargar baterías a una corriente mayor de un décimo de su capacidad estimada! Por lo tanto, una batería de 100Ah no deberá ser cargada a una corriente de más de 10 amperios.

Descarga es el estado de la batería cuando su energía está usada por una carga (por ejemplo, luces, radio, TV o bombas de agua). La corriente de descarga representa la velocidad a la que se sustrae corriente de la batería. Si desea, puede calcular la cantidad de energía extraída de una batería durante un periodo de tiempo (como en el caso del cargado de energía), multiplicando la corriente de descarga por el tiempo de uso de la carga.

Ejemplo:

Una lámpara que consume 1.2A utiliza, para cuatro horas, 4.8Ah de energía de una batería, o sea:
1.2 amperios x 4 horas = 4.8 amperios–horas

El **estado de carga** representa la cantidad de energía restante en la batería. Éste indica si una batería está completamente cargada, cargada a medias o completamente descargada. En el caso de una batería de plomo–ácido, es posible medir su estado de carga utilizando un higrómetro o un voltímetro.

5.3.3 Ciclo, ciclo de vida y profundidad de descarga

En un SFD, una batería se carga diariamente mediante un módulo FV y luego se descarga debido al uso durante la noche y la madrugada. Un periodo de carga junto con su correspondiente periodo de descarga, conforman lo que llamamos un **ciclo**. Por ejemplo, en un ciclo, una batería de 100Ah podría cargarse hasta un 95% de su capacidad durante el día y luego descargarse a un 75% de su estado de carga durante la noche, debido al uso de las luces y de la TV.

El **ciclo de vida** de una batería es el número estimado de ciclos de duración de una batería. La mayoría de baterías tienen un ciclo de vida de varios **miles de ciclos**; las baterías de níquel–cadmio tienen un ciclo de vida más largo que el de las baterías de plomo–ácido. El **ciclo de vida promedio** de una batería (el cual debe ser especificado por el fabricante o el distribuidor) es el número estimado de ciclos de duración de una batería antes de que su capacidad disminuya a un 80% de su capacidad nominal. El ciclo de vida real se acorta debido a descargas profundas, alta temperatura, falta de mantenimiento, y demasiadas descargas a alta velocidad. Esto es típico durante largos periodos nublados, o cuando la carga es mucho mayor que la entrada de sol.

5.3.4 Autodescarga

Si permanecen constantemente descargadas, las baterías perderán su carga lentamente mediante un proceso llamado **autodescarga**. La autodescarga es el resultado de una reacción química ocurrida dentro de las celdas de la batería. El porcentaje de descarga de una batería depende de la temperatura del ambiente y del tipo de batería (es decir, aquellas baterías con gran acumulación de ácido en la superficie tienden a tener un porcentaje de autodescarga más alto). El clima cálido aumenta el porcentaje de autodescarga. Por lo general, las baterías nuevas no se descargan más de un **5% al mes**. Sin embargo, en climas cálidos, las baterías de plomo-ácido usadas pueden perder hasta un **40%** de su capacidad al mes, si no se les carga regularmente. Por lo tanto, para evitar altos porcentajes de descarga, deberá:

1. Guardar la batería en una caja de madera o en una bandeja no metálica.
2. Mantener limpia la parte superior de la batería.
3. Mantener los terminales limpios y engrasados.

5.3.5 Tipos de batería

Las baterías solares han sido especialmente diseñadas para usos con módulos FV, con el fin de superar los problemas del uso de baterías convencionales. Entre sus características podemos mencionar:

- ❑ Un buen ciclo de vida, es decir, entre 1,000 y 2,000 ciclos (entre 3 y 6 años), en caso de que las baterías no pasen por ciclos profundos muy a menudo.
- ❑ Un porcentaje de autodescarga bajo, entre 2% y 4% al mes.
- ❑ Un gran depósito de electrolito para evitar daños por causa de exceso de gasificación y para disminuir la necesidad de agregar agua destilada.
- ❑ Mucha mayor tolerancia a los ciclos profundos que las baterías para autos. Sometida a una descarga diaria de 40% - 50%, la batería solar durará mucho tiempo. Incluso, una descarga diaria del 10% le otorga un periodo más largo de vida.

Las baterías selladas cuentan con un electrolito no líquido, que termina con los problemas de pérdida de agua a través de gasificación. Las baterías son selladas en la fábrica, por lo que no gotean ni derraman líquido, y a su vez, son de fácil transporte y requieren menor mantenimiento. Además, soportan ciclos profundos y tienen larga vida. Sin embargo, su rendimiento es muy deficiente a altas temperaturas, por lo que no deben ser utilizadas en lugares calientes. Este tipo de baterías es una de las más caras.

En el siguiente enlace, en inglés (<http://www.sonnenschein.org/PDF%20files/GelHandbookPart1.pdf>) podrá descargar un manual técnico de diseño y funcionamiento de una batería.

Medidas de seguridad para el uso y mantenimiento de baterías

Las baterías contienen ácido sulfúrico. Asimismo, generan mezclas explosivas de gases de hidrógeno y oxígeno en cada celda. Un cortocircuito en los terminales de la batería puede generar corrientes muy altas. Para estar en capacidad de manipular baterías con un riesgo mínimo, deberán tomarse algunas medidas de seguridad muy simples.

No dejar que objetos de metal conecten ambos terminales, positivo y negativo, de la batería.

Hacer cortocircuito en los terminales de la batería provocará chispas. Si el cortocircuito dura cierto tiempo, tanto el cableado como la batería se calentarán considerablemente. Esto puede producir fuego o puede hacer que la batería explote.

Ser muy cuidadoso al echar agua a una batería

Las baterías contienen ácido. Si este ácido cae en los ojos, puede ser muy peligroso. Esto se evita utilizando lentes de protección. En caso de que caiga ácido en los ojos, mantenerlos abiertos y enjuagarlos inmediatamente con mucha agua. Luego, consultar a un médico.

El ácido también es dañino para la piel y la ropa. En caso de que caiga ácido en la piel o la ropa, enjuagarse inmediatamente con mucha agua. Finalmente, lavarse siempre las manos después de haber manipulado una batería.

Ser cuidadoso al transportar una batería

Al transportar una batería, colocar las manos debajo de ella para evitar que se resbale o se caiga. Una caída puede provocar daño en los electrodos y ocasionar cortocircuitos internos. Esto puede provocar que la batería explote. Al cargar una batería, levantarla firmemente.

No hacer chispas cerca de una batería

Las baterías producen una mezcla de gases de oxígeno e hidrógeno que explota cuando se enciende. Evitar hacer chispas y no fumar o hacer soldaduras cerca de una batería.

5.4 Inversores de voltaje



Figura 12: Inversor de voltaje

Existen casos en que el cliente desea usar cargas (aparatos, equipos) convencionales. Aunque ésta no es siempre la mejor opción desde el punto de vista de la eficiencia energética, implica que la salida de un SFD sea cambiada de bajo voltaje (12V ó 24V DC) a 220V AC, 50 ó 60 Hertz.

En el siguiente enlace podrá descargar un manual técnico de instalación y funcionamiento de un inversor de voltaje:

(http://download.sma.de/smaprosa/dateien/5692/NG_UpdSDCard-TES100220.pdf)

5.5 Adaptadores, convertidores

Los **adaptadores** pueden utilizarse para graduar el voltaje de un sistema solar. Por ejemplo cuando la salida es 24V y las cargas son de 12V ó 6V, el voltaje debe disminuir. Esto puede hacerse con un adaptador cualquiera que se fabrican y venden en cantidad y son muy comunes. Usualmente sólo los contactos y enchufes deben ajustarse. **¡Tenga cuidado de que el adaptador sea lo suficientemente grande para la aplicación!**

Un **convertidor** es un aparato que también puede graduar el voltaje. Es un diseño un poco más complicado y no está siempre disponible en todos los lugares. La eficiencia es mucho más alta que la de un adaptador.

5.6 Cables eléctricos

Los cables utilizados en un sistema FV están cuidadosamente diseñados. Como el voltaje en un sistema FV es voltaje bajo: 12V ó 24V CC, las corrientes que fluirán a través de los cables son mucho más altas que las de los sistemas con voltaje de 110 ó 220V CA. La cantidad de potencia en watts producida por la batería o módulo FV está dada por la siguiente fórmula:

$$P = U * I \text{ (watts)}$$

Donde **U** es la tensión en Voltios (V) e **I** es la corriente en Amperios (A). Para suministrar una potencia a 12V, significa que la corriente será casi 20 veces más alta que en un sistema de 220 V. Esto quiere decir que deben usarse cables mucho más gruesos para impedir el recalentamiento e incluso la quema de los cables.



Fuente: www.skyfort.com

Figura 13: Cables eléctricos

El tamaño de los cables lo mostramos en el siguiente cuadro, la corriente máxima que puede fluir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.

Cuadro 4: Tamaño de los cables, corriente máxima y potencia

Tamaño del cable, corte de área seccional [mm ²]	Corriente máxima [A]	Potencia generada [W]		
		12 V	24 V	220 V
1.0	10	120	240	2200
1.5	15	180	360	3300
2.5	20	240	480	4400
4.0	30	360	720	6600
6.0	35	420	840	7700
10.0	50	600	1200	11000
16.0	70	840	1680	15400
25.0	90	1080	2160	19800

De este cuadro se deduce claramente que, a voltajes bajos, sólo pueden abastecerse bajas demandas de potencia o deben utilizarse cables muy gruesos. Para alcanzar una potencia de 1 kW a 12V, debe utilizarse un cable de 25.0 mm² para suministrar tanto como 20 kW a 220V. Esto aumenta el precio del sistema drásticamente, debido a que los cables más gruesos son más costosos.

Cuando se utilizan fusibles para proteger la unidad de control o dispositivos contra corrientes altas, el tamaño de los fusibles no debería ser mayor a la proporción de corriente máxima del cable. Los fusibles son útiles sólo en el extremo de uso de la batería pues en el lado FV de la batería, la corriente de cortocircuito es sólo 10% mayor que la corriente máxima durante brillo solar completo.

Cuando se diseñan sistemas más grandes, uno debe realizar un análisis costo/eficiencia para elegir el voltaje operativo más adecuado. Más aún, sería mejor reunir pequeños grupos de módulos y, de ser posible, no hacer el voltaje de operación más alto que 12V ó 24V.

5.7 Estructuras de soporte

Como los módulos solares deben mirar al sol sin interferencia de obstáculos en los alrededores, los módulos generalmente están colocados en una posición alta, sobre un techo o un poste.

Figura 14: Tipos de soportes



Cuando los módulos se colocan sobre un techo hay varias soluciones. Primeramente el módulo puede ser montado sobre una estructura inclinada ya existente, si la orientación de la caída del techo es cercana a la óptima. El techo debe ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso extra de los módulos, o más importante, el peso extra del viento. Las penetraciones para cables deben ser impermeables.

En segundo lugar, existe la posibilidad de integrar módulos al techo. Esto significa que los módulos actuarán como parte del tejado y que los materiales del techo como las tejas se ahorran. Los módulos ya son bastante fuertes a prueba de agua, entonces para qué desperdiciar materiales de construcción. Otra ventaja es que la carga del viento se disminuye cuando los módulos están colocados en el techo más que sobre el techo.

En tercer lugar, los módulos pueden colocarse en un techo plano sobre un marco que lo soporte. El marco está hecho de metal y fijado al techo (con pernos grandes) o se hacen lo suficientemente pesados utilizando concreto. La ventaja es que se puede escoger cualquier dirección e inclinación pero, claro, el marco aumenta los costos del sistema. Estos marcos también se utilizan en instalaciones en áreas planas sobre el piso.

Si no hay un techo adecuado disponible, será necesario elevar el módulo a cierto nivel a fin de evitar las sombras, pudiéndose hacer con postes. Esto sólo se logra con módulos pequeños utilizando construcciones parecidas a la de los postes de alumbrado público. También se utilizan los postes para evitar daños potenciales en los módulos causados, por ejemplo, por ganado o niños que juegan en los alrededores.

Bajo todas circunstancias los módulos deben colocarse de tal manera que estén a la mano para realizar trabajos de limpieza y mantenimiento.

6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

El dimensionamiento del sistema FV consiste en determinar su capacidad para satisfacer la demanda de energía de los usuarios. En zonas rurales y aisladas, donde no existen sistemas auxiliares, el sistema FV debe poseer una alta **confiabilidad**. Debido a que un sistema es un conjunto de componentes, cada uno de ellos debe ser tan confiable, que no ponga en peligro al sistema. El método de dimensionamiento se fundamenta en el balance de energía:

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas propias del sistema FV}$$

Los requerimientos del usuario son el punto de partida de todo ciclo. En el caso de la energía renovable esto no es diferente. Junto con las condiciones climáticas, que ya han sido discutidas con detenimiento en la sección de recursos de energía solar, un sistema puede diseñarse exactamente para satisfacer las necesidades del usuario a los más bajos costos.

Después de que el sistema se ha diseñado y se ha determinado su tamaño, el usuario debe ser instruido en cómo operar y dar mantenimiento a su sistema. Para esto debe dársele un entrenamiento rápido, pero sencillo, y completo junto con un manual con texto y diagramas fáciles de comprender.

6.1 Descripción del método simplificado

Tradicionalmente, el método simplificado de dimensionado se ha basado en un balance energético diario en las condiciones más desfavorables. Ahora bien, la experiencia muestra que es más conveniente realizar un balance de carga (Ah/día), en vez de energía (Wh/día) ya que la batería tendrá una tensión variable a lo largo del mismo dependiendo de su estado, y, consiguientemente, haciendo un balance en Amperios-hora generados y consumidos, evitamos el error derivado de la variación de la tensión de funcionamiento del sistema.

Este método utiliza valores medios mensuales diarios de radiación global y de la carga. En este caso se considerarán sólo los valores correspondientes al mes más desfavorable en la relación carga/radiación. Además hay que definir el número máximo de días de autonomía previstos para la instalación, d , en función de:

1. Características climáticas de la zona
2. El uso o finalidad de la instalación

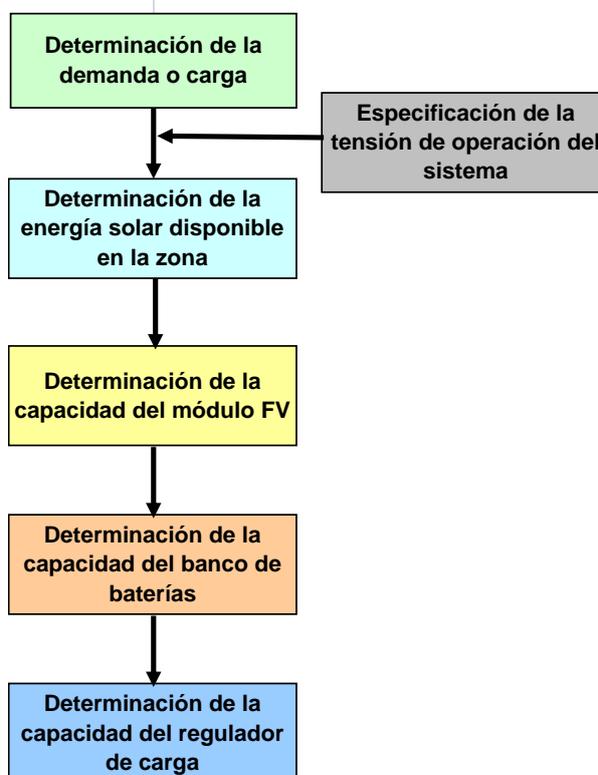


Figura 15: Diagrama de flujo de un proyecto FV

6.2 Cálculo del consumo de energía

Conceptualmente, el cálculo de la energía de consumo necesaria diariamente (Wh/día), E_t , es sencillo, pues basta con multiplicar la potencia (W) de cada una de los equipos que se dispone (luces, televisores, videos, ordenadores, etc.) por el número de horas de su utilización respectivamente (h/día). Es claro que este último parámetro se ve afectado por muchos factores tales como el número de usuarios, sus actividades, costumbres y entorno socioeconómico, la época del año, etc. que resultan de difícil predicción pero que habrá que estimar en base a la experiencia y los datos que se dispongan. Para estimar la carga de consumo diaria (Ah/día), L_t , únicamente habrá que dividir la energía de consumo diaria (Wh/día) por la tensión nominal del sistema (V_n), o bien realizar los cálculos anteriores en función de la corriente de consumo de cada equipo (A) en vez de la potencia (W).

La carga real necesaria a suministrar por el sistema fotovoltaico, L , se calcula teniendo en cuenta las eficiencias y pérdidas de los distintos subsistemas que intervienen en el sistema fotovoltaico,

$$L = L_{dc} + \frac{L_{ac}}{\eta_{inv}}$$

Donde:

- L : carga real necesaria (Ah/día)
- L_{dc} : cargas en corriente continua (Ah/día)
- L_{ac} : cargas en corriente alterna (Ah/día)
- η_{inv} : eficiencia media del inversor: 85%

El siguiente cuadro muestra con se debe calcular la estimación de carga

Cuadro 5: Cálculo de la energía total de consumo (E_t)

Estimación de carga						
Descripción	Unidades	Potencia AC (W)	Potencia DC (W)	Horas uso (h)	Energía/día (Wh/día)	Carga/día (Ah/día)
Luminaria	3		11	4	132	11.00
Televisor B/N	1		20	4	80	6.67
Radio portátil	1		16	4	64	5.33
TOTAL					276	23.00

6.3 Cálculo del generador fotovoltaico

La potencia pico del generador fotovoltaico se determinará teniendo en cuenta la radiación total diaria incidente sobre la superficie de los módulos, $G_{dm}(\beta)$, y el rendimiento global de la conversión fotovoltaica en el que se incluye las pérdidas por conexionado, dispersión de parámetros, efecto de la temperatura, acumulación de suciedad en la superficie de los módulos, etc.

El cálculo del número de módulos viene dado por la expresión:

$$N = N_{pp} \times N_{ps}$$

Siendo:

$$N_{ps} = \frac{V_{ng}}{V_{np}}$$

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m \times G}$$

Donde:

- N_{ps} : Nº de módulos asociados en serie para trabajar a la tensión nominal del sistema.
 N_{pp} : Nº de módulos asociados en paralelo para entregar la intensidad adecuada de energía.
 V_{ng} : Tensión nominal de la instalación.
 V_{np} : Tensión nominal del módulo: 12V DC (24V DC en casos especiales).
 L : Energía real a suministrar (Ah)
 I_m : Valor medio que toma la intensidad en el rango de tensión de trabajo, desde el punto de máxima potencia al de corto circuito.
 $G_{dm}(\beta)$: Radiación global diaria media mensual sobre el plano inclinado en el " peor mes".

6.4 Cálculo de la batería

Para el cálculo de la batería es necesario estimar el número de días de autonomía requerido en la instalación, d , que evidentemente dependerá del número de días seguidos sin sol que pueden darse en la ubicación de la misma (nubosidad local).

El sistema de acumulación, en Ah, vendrá determinado por la expresión:

$$C_{Ah} = \frac{L \times d}{P_d}$$

Donde:

- C : Capacidad de la batería (Ah).
 L : Carga real de consumo (Ah/día)
 d : Días de autonomía de la instalación. Este parámetro viene fundamentalmente determinado por las características climatológicas de la zona y el uso o finalidad de la aplicación. La recomendación mínima es de unos 3 días.
 P_d : Profundidad de descarga máxima de trabajo. Dependiendo de la tecnología de la batería este parámetro varía entre 0,5 para baterías de automoción, 0,6 para baterías de placa plana espesas y 0,8 para baterías tubulares ó de varilla.

¡Las baterías no deberían ser descargadas en más del 60%, de lo contrario su tiempo de vida disminuirá demasiado!

Por lo tanto, el tamaño de la batería de almacenamiento aumenta considerablemente.

Ejemplo:

Dimensionar una batería para cubrir un período de tres días sin sol. Suponemos que:
Eficiencia de batería = 80%
Profundidad de descarga de batería = 50%
Consumo eléctrico = 5 KWh/día

$$\text{Tamaño de la batería: } \frac{3 \times 5}{0.8 \times 0.5} = 37.5 \text{ kWh}$$

Que equivale a 31 baterías de 12 V con una capacidad de 100 Ah cada una = 37.2 kWh

6.5 Cálculo del regulador de carga

En cuanto al regulador de carga, su elección se realizará en función de la aplicación, la tensión nominal del sistema y la corriente máxima de generación.

La corriente en operación continua que debe ser soportada por el controlador de carga, será como máximo la intensidad de cortocircuito de los módulos multiplicado por el número de módulos en paralelo

$$I_{mg} = N_{pp} \times I_{cc}$$

Donde:

- I_{mg} : Intensidad máxima a soportar en régimen nominal por el regulador.
- N_{pp} : Número de módulos en paralelo que constituyen el generador fotovoltaico.
- I_{cc} : Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

6.6 Cálculo del inversor DC/AC

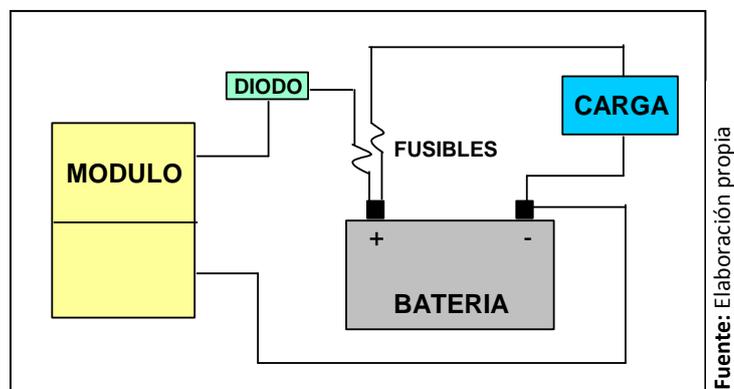
En algunas instalaciones fotovoltaicas es necesario suministrar energía en corriente alterna (AC) por lo que se dispondrán de un equipo para invertir la corriente a partir de la corriente continua (DC) generada por el sistema. El inversor por lo general se conectará directamente a la batería, para evitar que los picos de corriente puedan dañar al regulador de carga.

El cálculo del inversor se determina de la suma de las potencia de los equipos de corriente alterna (AC), por ejemplo, TV de 75W, DVD de 25W, equipo de sonido de 50W, da como total una potencia de 150W. En base a este valor se determina su capacidad, teniendo en cuenta que debe ser de mayor capacidad que el total.

Por otro lado es necesario conocer el tipo de carga que se desea conectar al inversor, pues existen diferentes tecnologías en cuanto a la forma de onda (onda cuadrada, senoidal modificada, senoidal pura) algunas de las cuales pueden no ser adecuadas para determinados equipos.

6.7 Correcta disposición del cableado

Para realizar un correcto cableado, se debe elaborar un **diagrama eléctrico unifilar**, en donde se representan todas las partes que componen un sistema eléctrico de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así una mejor visualización del sistema de la forma más sencilla. Un ejemplo de diagrama unifilar para un sistema FV se presenta en la siguiente figura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Diagrama simple de un sistema FV (sin unidad de control)

Cuando el sistema es de mayor capacidad y complejidad, se recomienda lo siguiente:

- ❑ Dividir el arreglo de módulos en grupos de generadores, cada uno con su regulador.
- ❑ Cablear los módulos en serie y en paralelo.
- ❑ Cablear el banco de baterías.
- ❑ Crear centros para el manejo de la carga (centros de CC y CA)
- ❑ Instalar diodos de bloqueo y de by-pass.
- ❑ Instalar switches, aisladores de circuito (circuit breakers) y fusibles apropiados.

El cable utilizado debe ser apropiado. En el capítulo anterior se mostró un cuadro que posee esta información. Hay por lo menos tres condiciones mínimas que deben cumplir los cables:

1. Deben ser aptos para el ambiente en el que se instalan (para intemperie o para uso en interiores)
2. Deben tener la capacidad requerida para soportar la corriente máxima que fluye por ellos (no sobrepasar el **límite de ampacidad**¹)
3. La caída de voltaje en la línea debe ser inferior a 5% (o mejor, inferior a 2.5%)

A continuación se presenta un cuadro en donde los diferentes tipos de cables se dan en el estándar norteamericano American Wire Gauge (AWG). El cuadro presentado en el capítulo anterior da el tipo de cable por su diámetro (en mm²)

Cuadro 6: Ampacidad y resistencia de cables de cobre (AWG)

CALIBRE [AWG]	AMPACIDAD [A]	Ω /1000m [Ohm]	Ω /1000ft [Ohm]
16	6	14.7277	4.489
14	15	9.2618	2.823
12	20	5.8235	1.775
10	25	3.6647	1.117
8	35	2.3041	0.7023
6	50	1.4488	0.4416
5	55	1.1490	0.3502
4	70	0.9114	0.2778
3	80	0.7228	0.2203
2	90	0.5732	0.1747
1	100	0.4544	0.1385
0	125	0.3606	0.1099
00	150	0.2858	0.08712
000	175	0.2267	0.06909
0000	225	0.1798	0.05479

Fuente: CRC Handbook, 1976

Ω = Resistencia del cable

Ω /1000m = Resistencia específica para 1000 m de cable de cobre

Ejemplo:

¿Cuál es la resistencia de 50 m de cable AWG 12?

¹ La ampacidad es la capacidad de transporte de corriente que tiene un cable. Su valor se da en amperios.

De acuerdo al Cuadro 6, la resistencia para 100 m es 5.82 Ω /1000m. Por lo tanto:

$$R = \frac{5.82\text{Ohm} \times 50\text{m}}{1000\text{m}} = 0.290\text{Ohm}$$

Su ampacidad es 20 Amperios. Nota que la ampacidad no depende de la longitud del cable, pero si su resistencia.

6.8 Selección del lugar de ubicación, requerimientos

A pesar de que los sistemas FV no son muy exigentes, hay algunos requerimientos para determinar un lugar de ubicación adecuado para el sistema. También deben tomarse en consideración todos los lugares para todos los componentes del sistema porque algunos deben estar fuera (del módulo) mientras que otros componentes deberían estar de preferencia dentro (baterías y unidad de control).

1. Ubicación de los módulos: debe haber suficiente espacio sobre el techo o poste para colocar el módulo. También debe haber suficiente ventilación para los módulos. Debe evitarse las sombras. Ver método para determinar la sombra de obstáculos alrededor.
2. Optimiza el ángulo de inclinación y orientación de los módulos; mirando al sol y en una caída igual a la de la latitud (para el Ecuador hasta 13°)
3. La estructura del techo o marco de soporte deben ser lo suficientemente fuertes para soportar la carga extra del viento (especialmente en áreas donde se dan tormentas esto es un requerimiento importante).
4. Los módulos deberían ser montados de tal manera que estén al alcance para los servicios de limpieza y mantenimiento. Esto también se aplica a la batería y al controlador.
5. La ubicación de los módulos debe estar cerca de los lugares donde se ubican la unidad de control, la batería y el uso final para evitar cables largos que son costosos y originan pérdidas. Mantenga los cables que van desde la unidad de control a los puntos finales de uso lo más cortos posibles.
6. Los módulos deberán ser protegidos contra robos o cualquier posible fuente de daño (vandalismo, niños que juegan, etc.)
7. Los módulos no deben colocarse cerca de fuentes contaminantes como chimeneas industriales de combustión, carreteras polvorientas, etc.
8. La unidad de control y batería de almacenamiento deben instalarse dentro o en una caja que pueda soportar todas las inclemencias del clima (piense en suficiente ventilación para enfriar los componentes electrónicos y para ventilación de las baterías ventiladas)
9. Mantenga la batería a temperatura moderada (10-35°C) para aumentar el comportamiento y tiempo de vida de la batería. Evite los lugares expuestos directamente a la luz del sol.

7. INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

A continuación se dan los pasos necesarios para la correcta instalación de un sistema FV:

7.1 Selección del lugar

Para la correcta elección del lugar de instalación, se deben tener en cuenta los requerimientos del numeral 6.8. Además, elegir bien la orientación e inclinación de los módulos FV para su correcto emplazamiento.

Para la orientación, se podrá utilizar una brújula. Los módulos deberán orientarse mirando hacia el Norte (para el hemisferio Sur) o mirando hacia el Sur (para el hemisferio Norte). En el caso del Ecuador, los módulos prácticamente están en ángulo recto con el cenit, lo que permite el mejor aprovechamiento de la radiación solar.

Para la inclinación, se deberán seguir los criterios que se describen en el Capítulo 3.

7.2 Instalación de los módulos

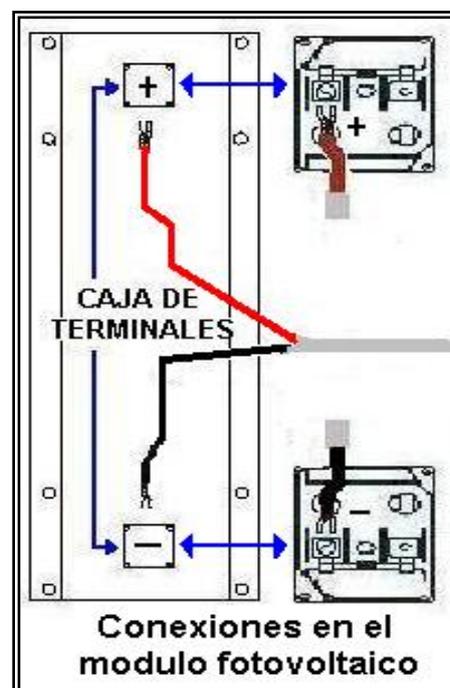
El proveedor proporciona los elementos y componentes de montaje. Estos son piezas de aluminio preparadas para ser sujetadas por tornillos.

La base o fundamento de los módulos en el piso debe hacerse sobre bloques de hormigón para que soporte las cargas y esfuerzos a que van a ser sometidos. Debe haber espacio suficiente para hacer las conexiones y el mantenimiento, así como para que el aire circule libremente.

La instalación también se puede realizar sobre un poste o directamente en el techo de la vivienda. Esto último dependiendo de la orientación e inclinación necesarias.

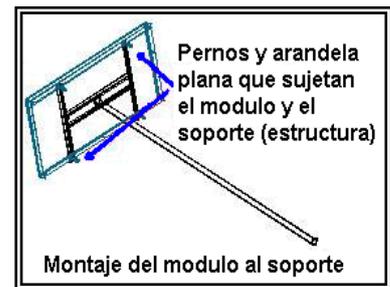
7.2.1 Conexiones con el módulo

- Revisar y preparar el modulo fotovoltaico
- Revisar y preparar los cables eléctricos para la conexión.
- La distancia y el cable que se va a utilizar para la conexión en el modulo como también entre el modulo al regulador de carga es de 10 metros de conductor bipolar vulcanizado 12 AWG, flexible apropiado para exteriores
- Pelar el cable e introduzca el cable desnudo por el orificio de la caja de terminales que se encuentra en la partes posterior del modulo.
- Luego hacer las conexiones en las cajas de terminales (borne positivo y borne negativo). Cable rojo para el positivo y cable negro para el negativo
- Apriete el tornillo fuertemente con un destornillador del tamaño de adecuado
- Después de haber hecho las conexiones en el modulo, se procede a hacer el montaje en el soporte (estructura que puede ser de metal o poste de madera empotrado en el suelo)



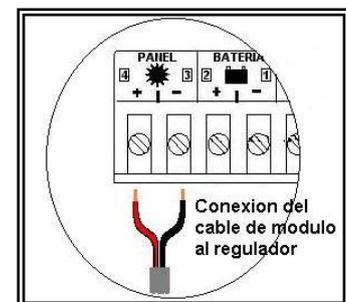
7.2.2 Conexiones con el soporte

- ❑ Este procedimiento se hace con el soporte echado en el suelo antes de levantarlo.
- ❑ Los módulos se fijan al soporte utilizando los agujeros que tienen en el marco del módulo.
- ❑ Los pernos deben ser colocados de adentro hacia fuera (la tuerca se coloca por afuera). Siendo su orden:
 - La arandela plana delgada a la cabeza del perno
 - La arandela de presión pegada a la tuerca (entre ellas van el módulo y su soporte).
- ❑ Poner los cuatro tornillos de acero inoxidable del módulo sin apretarlos, realizando esta operación cuando ya estén todos colocados.
- ❑ El soporte debe tener una inclinación de 20° respecto a la horizontal.
- ❑ El soporte (estructura) debe estar orientado siempre mirando hacia el norte.
- ❑ Luego se levanta el soporte, ubicándolo en el lugar elegido, que esté libre de sombras y deberá a su vez ser fijada en suelo y ofrecer la resistencia suficiente para soportar el empuje del viento.



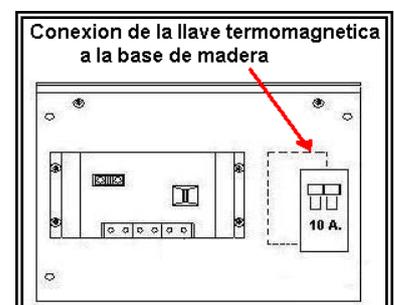
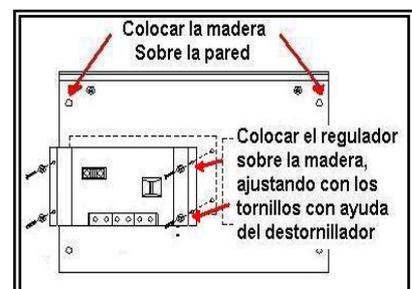
7.2.3 Conexiones al regulador de carga

- ❑ Luego procedemos a conectar el cable (positivo y negativo) procedente del módulo a las conexiones del regulador en el lugar de panel, respetando las polaridades



7.3 Instalación del regulador

- ❑ Instale en posición vertical la base de madera en la pared por medio de clavos y / o tornillos.
- ❑ Ubicar en el interior de la casa en un lugar visible, con el fin de poder vigilar el estado de las señales luminosas, a una altura mínima de 1.50 m. Sobre la posición de la batería.
- ❑ Seguidamente monte el regulador sobre una base de madera, prensando con los tornillos de madera con ayuda del destornillador
- ❑ luego instale el interruptor termo magnético de 10 Amperios (unidad de corriente) o una caja porta fusibles (con un fusible de protección de 10 Amperios) esto componente sirve para la protección del regulador. En caso de un corto circuito que puede producirse en las luminarias, televisor o radio.
- ❑ Es necesario indicar que para todas las conexiones en los terminales del regulador, debe liberar los tornillos (con el destornillador) de los terminales hasta que quede libre el agujero de conexión, así mismo el pelado de los cables que van conectados a los terminales debe ser aproximadamente 1 cm.
- ❑ Luego introducimos el cable en el agujero de conexión del terminal y ajustamos el tornillo hasta que el cable quede firmemente sujeto.
- ❑ Al conectar los cables de la batería, el módulo y las luminarias siempre debe empezar primero por el terminal negativo y luego por el terminal positivo.



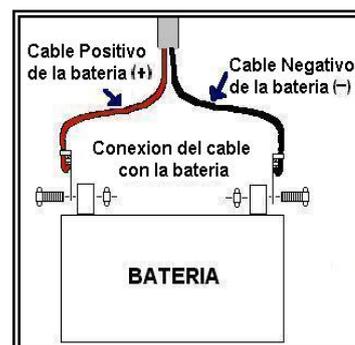
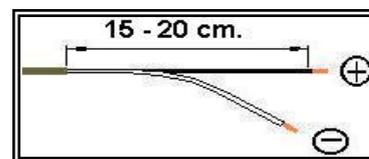
El regulador dispone de tres pares de conexiones (terminales), a los que se deberá conectar la batería, el módulo y los equipos de consumo (luminarias, TV. Radio). Es MUY IMPORTANTE observar el siguiente orden de conexionado. Respételo siempre para evitar posibles daños al regulador y a los equipos conectados a su salida:



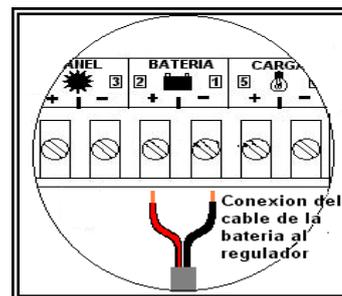
- Conectar negativo y positivo de la batería.** Esta conexión activa el sistema de regulación y todo su sistema de control dispone así de alimentación estable.
- Conectar negativo y positivo del módulo fotovoltaico.** Para evitar que se produzcan chispas, debe hacerse cuando no haya mucha luz, o bien con los módulos cubiertos de modo que no reciban luz.
- Conectar negativo y positivo del consumo.** Luminarias

7.4 Instalación de la batería

- Revisar, preparar los cables eléctricos y la batería.
- La distancia y cable a utilizar para la conexión de batería como también de batería al regulador de carga es de 2 metros de conductor bipolar vulcanizado 12 AWG, flexible para exteriores.
- Retirar la cubierta exterior del cable, desnudando los cables negro (negativo) y rojo (positivo), dejando un espacio sin recubrimiento de 15 a 20 cm.
- Luego haga la conexión de los terminales tipo “ojo” en el cable de la batería.(de acuerdo a la marca de la batería podría variar la forma de conector)
- Hacer la conexión a la batería respetando las polaridades, debido a que puede ocasionar un corto circuito.
- Debe instalarse la batería encima de una madera, en un lugar protegido de la intemperie, seco y ventilado para evitar la acumulación de gases que se desprenden en el proceso de carga.
- La distancia entre la batería y el módulo deberá ser lo menor posible, para minimizar las pérdidas por caída de tensión.
- Luego procedemos a conectar el cable (positivo y negativo) procedente del módulo a las conexiones del regulador en el lugar de batería, respetando las polaridades.



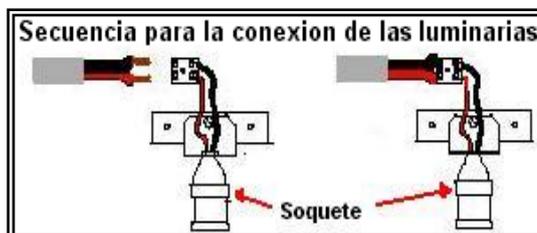
IMPORTANTE: PARA EVITAR LA APARICION DE CHIPAS EN LAS BORNAS DE LA BATERIA, SIEMPRE SE CONECTARAN LOS CABLES EN VACIO, ES DECIR, LIBRES EN EL EXTREMO DEL REGULADOR



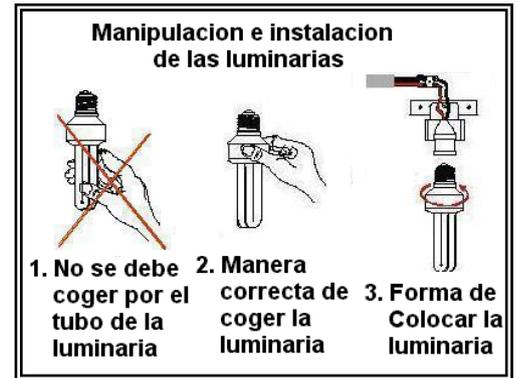
7.5 Instalación de las luminarias (cargas) e interruptores

7.5.1 Conexión de las luminarias

- Preparar, revisar los cables eléctricos y las luminarias.
- La distancia y el cable que se va a utilizar para la conexión en las luminarias como también entre las luminarias al regulador de carga es de 30 metros de conductor bipolar vulcanizado 14 AWG, flexible apropiado para exteriores.

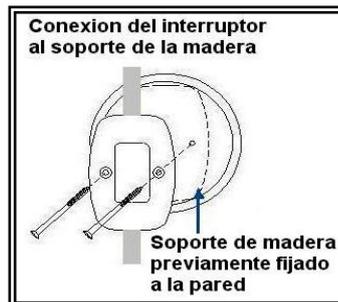
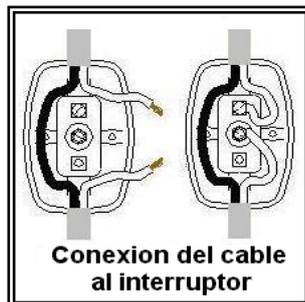


- ❑ Conectar los cables al soquete., en la cual el tornillo del centro es para el cable positivo y el tornillo del costado es para el cable negativo.
- ❑ Tenga cuidado al instalar los cables al soquete respetando las polaridades, para que no produzca un corto circuito
- ❑ Ahora procedemos a colocar la luminaria para la cual debemos tener en cuenta no coger por el tubo.



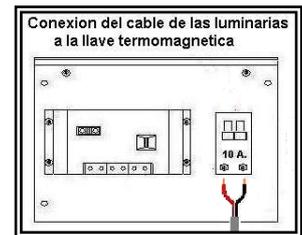
7.5.2 Conexión de los interruptores

- ❑ Luego conectar el interruptor con el cable de la luminaria.
- ❑ Fijamos el interruptor en el soporte de madera previamente fijado en la pared.



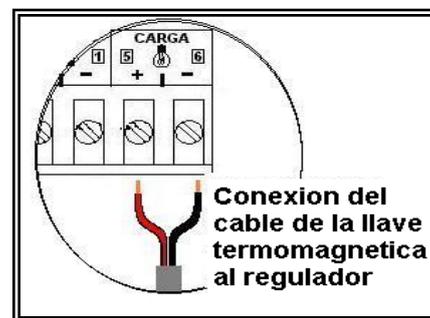
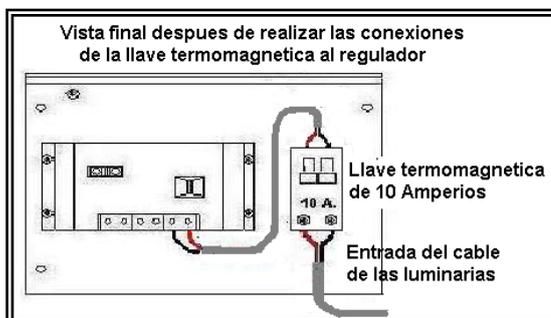
7.5.3 Conexión del cable de las luminarias a la llave termomagnética

- ❑ Luego procedemos a conectar el cable de las luminarias a la llave termomagnética.



7.5.4 Conexión del cable de la llave termo magnética al regulador

- ❑ Verificar que la palanca de la llave termo magnética este abajo para hacer las conexiones.
- ❑ Conectar la llave termo magnética a las conexiones del regulador en el lugar de consumos, respetando las polaridades.
- ❑ Luego suba la palanca de la llave termo magnética para que ingrese la corriente del modulo y funciones las lámparas.



7.6 Preparación del cableado

Para cablear los diversos componentes del sistema FV se recomienda elaborar primeramente un diagrama unifilar. Este diagrama sirve también para calcular los costos. Un ejemplo de diagrama básico se da en la Figura 21.

Previamente ya se eligió el cable apropiado utilizando los cuadros dados en los capítulos y numerales anteriores. Es importante colocar también los diodos de bloqueo y by-pass.

7.7 Instalación del regulador

Coloca el regulador cerca de las baterías. El proveedor del regulador suministra un diagrama de terminales con instrucciones fáciles de seguir. Generalmente se trata de medición de tensiones.

7.8 Instalación de las baterías

Las baterías se colocan en lugares cerrados apropiados (con ventilación suficiente) sobre rejillas fabricadas de material resistente a los ácidos. Siempre hay que seguir las instrucciones del proveedor.

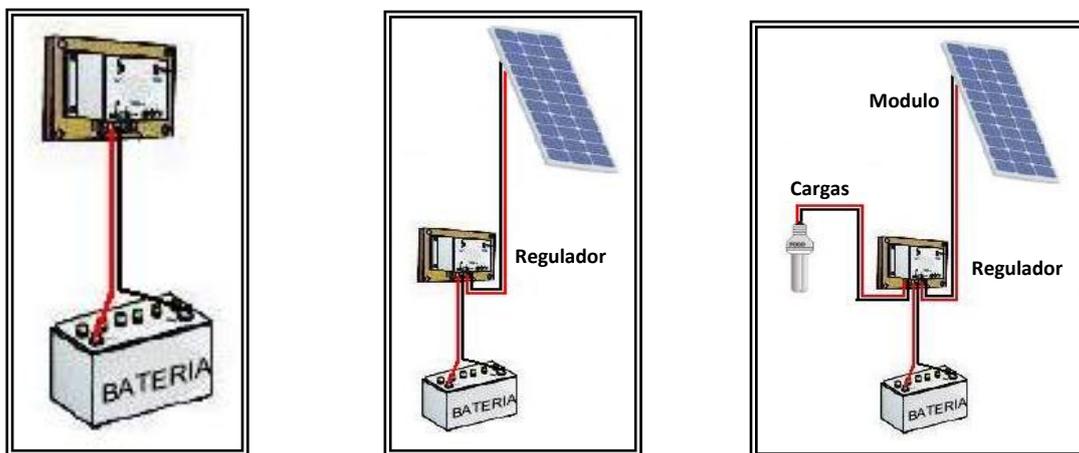
Para la conexión en serie y en paralelo, dependiendo del diseño del banco de baterías, se emplea el material suministrado por el proveedor. Luego se procede al llenado de las celdas con el electrolito, evitando que caiga sobre los bornes o cables. Luego es necesario esperar por lo menos dos horas para que el electrolito impregne las baterías. Posteriormente, habiendo verificado la polaridad, se cargan las baterías (las baterías selladas ya vienen listas para la operación)

SIEMPRE TENGA CUIDADO EXTREMADAMENTE CON LAS POLARIDADES

**CONECTE + CON +
CONECTE - CON -**

Solamente cuando se haya verificado todo el sistema con el banco de baterías a plena carga, se puede conectar las cargas o aparatos. En resumen podemos decir que la secuencia es:

Figura 17: Secuencia de instalación



1. Conectar la batería al regulador

2. Conectar el módulo al regulador

3. Conectar finalmente las cargas (Luminarias o radios)

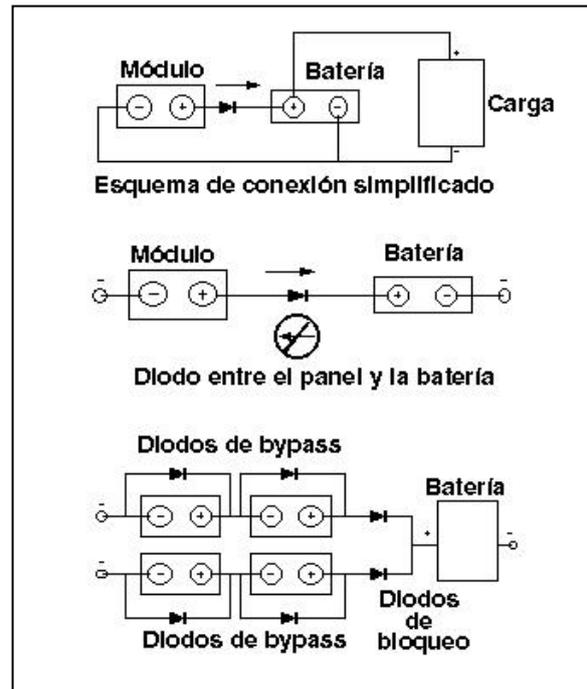
1. **Preparación de los equipos:** Ubicar cada elemento del sistema en su lugar dejándolo listo para el cableado.
2. **Conexión del módulo:** Conectar el módulo siguiendo las instrucciones de instalación del módulo.

3. **Conexión batería – regulador:** Conectar la batería al regulador, con lo que el regulador quedará activado.
4. **Conexión regulador – módulo:** Conectar el módulo al regulador.
5. **Conexión regulador – consumo:** Conecte los equipos de consumo a la toma del regulador de carga.

7.9 Operación de los diodos

Los diodos son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente en una única dirección. En los sistemas FV generalmente se utilizan dos: diodos de bloqueo y diodos de bypass.

Los **diodos de bloqueo** impiden que la batería se descargue a través de los módulos FV en ausencia de luz solar, o sea que evita que la corriente retorne. Evitan también que el flujo de corriente se invierta entre bloques de módulos conectados en paralelo, cuando en uno o más de ellos se produce sombra.



Fuente: <http://galeon.com/solarfotovoltaica>

Figura 18: Esquemas de conexión de diodos

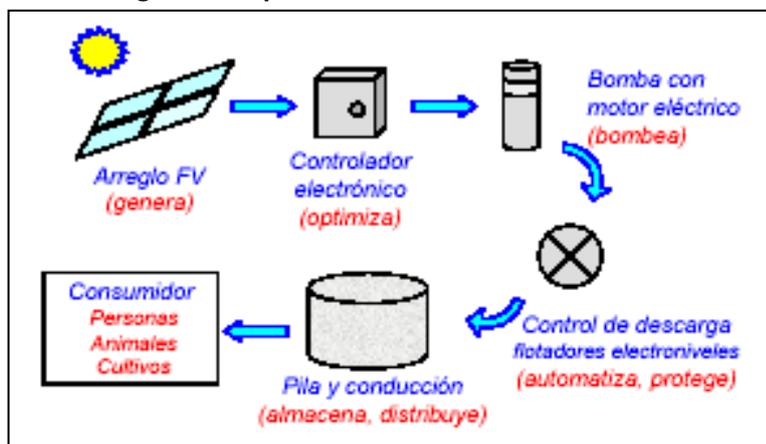
Los **diodos de bypass** protegen individualmente a cada módulo de posibles daños ocasionados por sombras parciales. Deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie. Generalmente no son necesarios en sistemas que funcionan a 24 V o menos.

Mientras que los diodos de bloqueo evitan que un grupo de módulos en serie absorba corriente de otro grupo conectado a él en paralelo, los diodos de bypass impiden que cada módulo individualmente absorba corriente de otro de los módulos del grupo, si en uno o más módulos del mismo se produce una sombra.

7.10 Ejemplo: Sistema de bombeo solar

Los sistemas solares de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde 1,000 litros diarios para abrevar pequeños ganados o para consumo humano, hasta 50,000 litros diarios para abrevar ganados más grandes e irrigar pequeñas parcelas. Su costo inicial es alto comparado con sistemas de bombeo a base de motores de combustión. Por consiguiente, el proyectista o usuario debe considerar cuidadosamente las ventajas y desventajas de la opción solar antes de tomar una decisión.

Figura 19: Operación de un sistema FV de bombeo



Fuente: FIRCO y SWDTI

Un **sistema FV de bombeo** es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Su operación es muy sencilla, como se muestra en la Figura 4. Los componentes principales que lo constituyen son: un arreglo de módulos FV, una unidad de control o controlador electrónico, un motor acoplado a una bomba y un tanque de almacenamiento.

Las necesidades de agua para consumo humano y de animales requieren del uso de un **tanque de almacenamiento**. Se recomienda almacenar el agua para tres días de reserva. Almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de algunos años de uso, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas. En general no se recomienda utilizar baterías en los sistemas solares de bombeo.

El equipo de bombeo

La potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la intensidad del sol. Es decir, a medida que varía la intensidad solar durante el día, también cambia la disponibilidad de potencia para la bomba. Fabricantes tales como Grundfos, Solarjack, A.Y. McDonald, Dankoff, Shurflo, entre otros, fabrican equipos para bombeo solar diseñados especialmente para trabajar en estas condiciones de potencia variable. Cada fabricante suministra el motor, la bomba y los controles necesarios. Aparte de los controles, las bombas son muy similares a las bombas convencionales. Hay equipos de bombeo solar con bombas centrífugas y volumétricas, sumergibles y no sumergibles. A continuación se mencionan algunas características de cada tipo.

Las **bombas centrífugas superficiales** tienen la ventaja de fácil acceso para reparaciones y mantenimiento. Sin embargo, están limitadas en términos de capacidad de succión (7 metros máximo). Son de bajo costo, larga durabilidad y toleran cierta cantidad de arena y otros sedimentos. Se recomiendan para aplicaciones que requieran grandes volúmenes de agua (20,000 a 40,000 litros por día) a baja altura de bombeo (1 a 10 metros).

Las **bombas centrífugas sumergibles** son las más comunes en sistemas de bombeo FV. Hay una gran variedad de modelos. Generalmente tienen varios impulsores y por ello se les conoce como bombas de paso múltiple. Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren daños por sobrecalentamiento. La mayoría son muy confiables y pueden durar más de 10 años en servicio continuo, aunque su costo inicial es mayor que las bombas superficiales. Se recomiendan para bombear cantidades moderadas de agua (5,000 a 20,000 litros por día) a carga dinámica total media (20 a 35 metros).

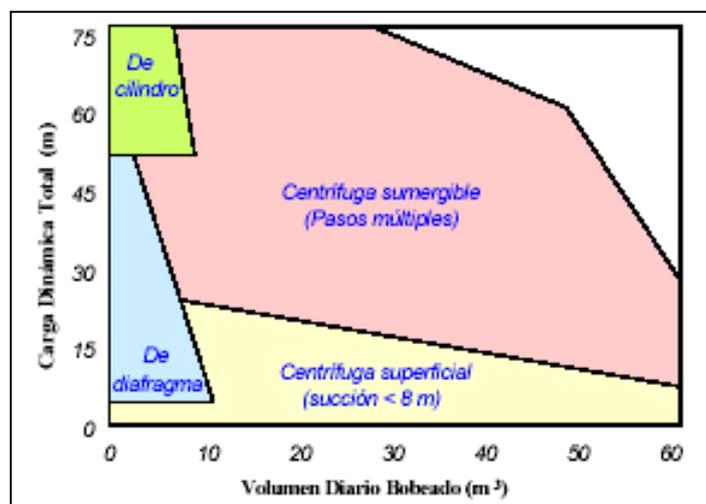


Figura 20: Tipos de bombas según altura de bombeo y volumen diario requerido

Las **bombas volumétricas** o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajas cantidades de agua (1,000 a 5,000 litros por día). Son más eficientes que las bombas centrífugas, especialmente mayor altura de bombeo. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover el agua; otras utilizan diafragmas. Este tipo de bombas son menos resistentes a la arena. Los diafragmas y sellos se desgastan y deben ser reemplazados periódicamente. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

Selección de la bomba

Cada fabricante ofrece varios modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de

operación. El proceso de selección de la bomba se complica debido a la gran variedad de marcas disponibles. La Figura 20 indica a grandes rasgos el tipo de bomba que se recomienda según la carga dinámica total del sistema de bombeo (altura de bombeo) y el volumen de agua que se requiere. En cada caso particular, es necesario consultar las recomendaciones de los fabricantes.

8. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Es bien sabido que el **mantenimiento preventivo** evita fallas o averías y, por tanto, aumenta la disponibilidad técnica de un sistema. Por supuesto, el mantenimiento preventivo tiene un costo. Toma tiempo y algo de dinero realizar actividades de mantenimiento (limpieza, cambio de aceite, reparaciones menores, etc.). Por lo general, hay una medida óptima de mantenimiento. Los costos de mantenimiento preventivo aumentan en proporción al grado de mantenimiento que se lleve a cabo. Cuando ha habido poco o ningún mantenimiento, los costos por reparaciones son altos; cuando el mantenimiento aumenta, los costos por reparaciones disminuyen drásticamente. **¡Por lo tanto, las primeras actividades de mantenimiento son las más baratas!**

Ejemplo:

No se acostumbra limpiar el vidrio de un sistema solar diariamente, pero limpiarlo una vez cada dos años no es suficiente. Lo óptimo sería limpiar el módulo solar con una frecuencia de varias veces al año a una vez al mes, dependiendo de las condiciones locales (polvo, lluvia, etc.). Por lo tanto, el fabricante deberá establecer qué tipo de mantenimiento se requiere, cómo debe llevarse a cabo y con qué frecuencia.

Para el caso de los sistemas solares domiciliarios (SSD) en zonas rurales, prácticamente todas las actividades de mantenimiento preventivo son realizadas por los usuarios. Por lo tanto, es muy importante instruir a los usuarios cuidadosamente. Para ello, es esencial contar con un manual del usuario o un manual de mantenimiento, con el fin de enseñar a los usuarios acerca de cómo operar y dar mantenimiento a sus sistemas. En el caso de sistemas más complicados (alumbrado público, sistemas FV más grandes, instalaciones de bombeo FV), el usuario no podrá realizar todas las actividades de mantenimiento por sí mismo. En esos casos, se necesitará la ayuda de un técnico experimentado.

Este capítulo está dedicado a mostrar las actividades de mantenimiento preventivo que se deben realizar a un SSD. Asimismo, estas actividades podrán ser parte de un **manual del usuario**.

8.1 Mantenimiento del módulo solar

Limpieza de los módulos

- Lavar el modulo cada mes con agua y un trapo suave hasta sacar toda la suciedad y luego secar con un trapo suave para no rayarlos. Se debe hacer al amanecer o al anochecer, cuando los módulos no están calientes.
- Verificar la orientación del arreglo.
- Verificar que el arreglo esté bien ajustado y fijo.
- Inspeccionar que las conexiones estén limpias (limpiar la corrosión si la hubiere) y bien ajustadas.



Evitar sombras

- No permitir la presencia de objetos sobre el módulo.
- No plantear árboles cerca del módulo, ya que con el tiempo podrían llegar a sombrearlos.

Sobre su funcionamiento

- Controlar periódicamente que el ángulo de inclinación no cambie.
- Confirmar que no haya proyección de sombras de objetos cercanos en ninguna sector del modulo, desde que sale el sol, hasta que se pone.



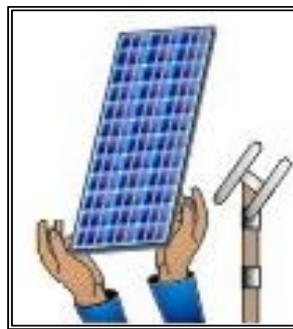
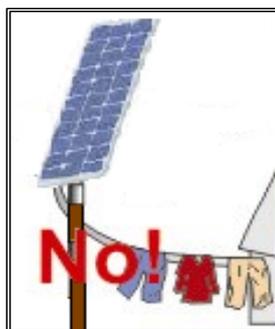
- Examinar que todas las conexiones estén ajustadas convenientemente y sin indicios de oxidación, suciedad o acumulación de insectos.
- Asegurar que las conexiones entre el modulo y regulador; estén bien y que no hayan sufrido deterioro durante el tiempo transcurrido apretando los bornes si es necesario, asegurando que los cables estén bien apretados.
- Para las cajas de conexiones a la intemperie, se recomienda emplear silicona para evitar la corrosión.
- Inspeccionar los módulos y ver si hay celdas descoloridas, rotas o módulos despegándose.

Aspectos eléctricos

- Medir la corriente máxima de corto circuito (I_{sc}) empleando un amperímetro. Debe ser proporcional a la radiación. La corriente medida debe ser igual a la información técnica del módulo.
- Medir la tensión máxima de circuito abierto (V_{oc}) empleando un voltímetro. Debe disminuir con la temperatura de la celda. Estimar la temperatura de operación de la celda (NOCT, en inglés). Calcular el V_{oc} correspondiente y comparar con la ficha técnica.

RECOMENDACIONES

- No arrojar piedras cerca del modulo, no permitir jugar con la pelota.
- No jale ni cuelgue objetos en los cables eléctricos, que van desde el modulo hasta el regulador.
- Por ningún motivo debe desconectar el modulo.
- No mueva los módulos de su sitio, si esto sucede oriéntelo adecuadamente hacia el norte, inclínelo de acuerdo a la latitud del lugar.
- Por ningún motivo debe desconectar el módulo.
- El vidrio de la cubierta del módulo es suficientemente fuerte para resistir lluvia, granizo, pero no es irrompible, por lo tanto usted debe cuidar que no le tiren objetos o manipulen la parte frontal.



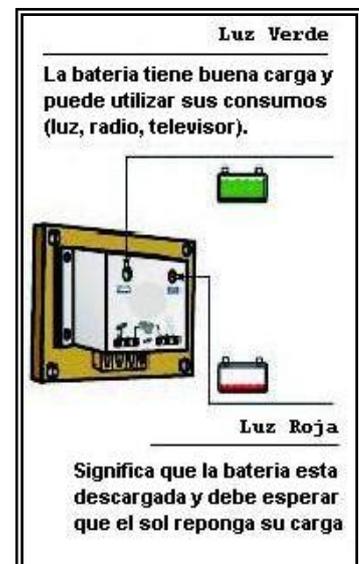
8.2 Mantenimiento del regulador

Las tareas de mantenimiento del regulador, a cargo del mismo usuario, son mínimas y están relacionadas principalmente con el funcionamiento correcto de sus indicadores luminosos y fusibles de protección

Además se recomienda, en un eventual caso de falla, verificar las conexiones de los cables de modulo, de la batería y de la carga. Normalmente un regulador tiene 2 señales luminosas que informan el estado de la batería:

LED Luminoso Color Rojo

Indica voltaje bajo de la batería, la batería se encuentra en carga y por tanto, está recibiendo corriente desde el modulo. Usted deberá reducir sus consumos al mínimo o de lo contrario, en breve, se interrumpirá el



suministro de energía a los consumos cuando el voltaje se encuentra por debajo de un valor crítico más de 10 segundos, se produce la desconexión del consumo con el fin de proteger la batería contra sobredescarga, el consumo no se restaurará hasta que la batería alcance la medio carga.

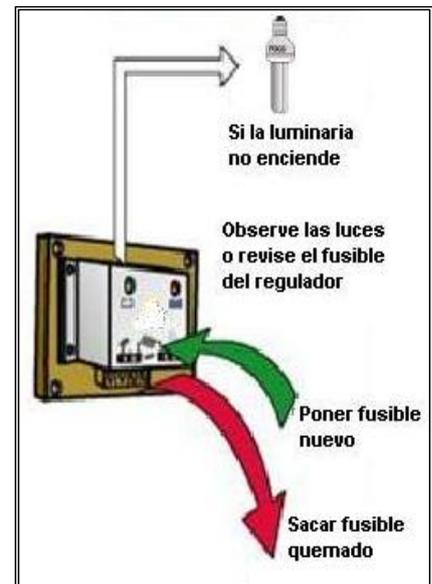
LED Luminoso Color Verde:

Indica que la batería se encuentra en un estado próximo al de plena carga y que los módulos fotovoltaicos están entregando corriente. Usted podrá utilizar sus consumos sin restricción, si bien el tiempo de operación del sistema dependerá del uso racional que de estos haga.

Cuando cambiar el fusible del regulador:

Cuando todas las lámparas no encienden:

- Si la luz roja está encendida, esperar hasta que el sol reponga la carga de la batería.
- Verificar si el fusible del regulador está quemado para cambiarlo
- Si las lámparas todavía no funcionan después de cambiar el fusible, debe de cambiar por otro regulador.



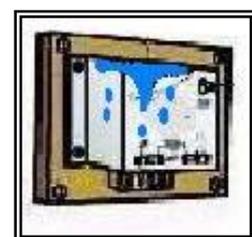
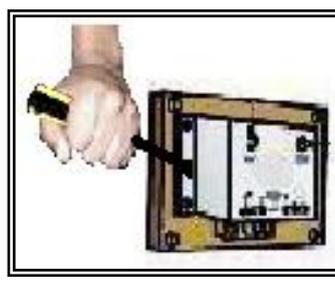
RECOMENDACIONES

Tenga cuidado con el regulador

- No debe extraer el regulador del sistema. Podría causar graves daños a la batería
- No permite que el regulador se moje por ningún motivo

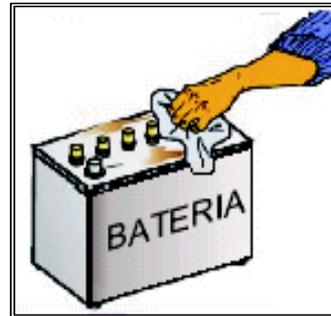
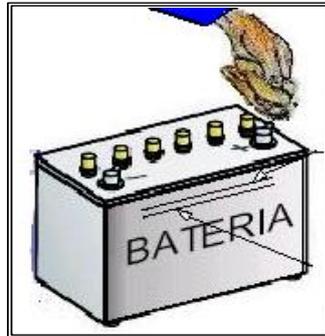
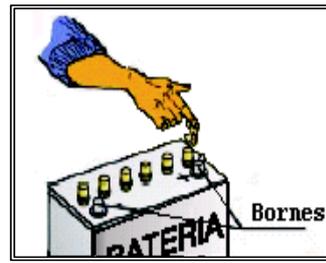
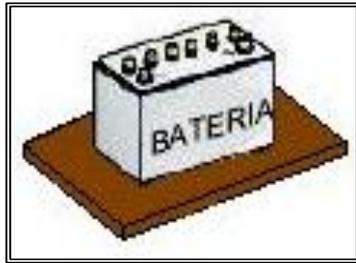
No manipular el equipo

- A. No sacar nuevos cables del regulador ni hacer otras conexiones
- B. Nunca abra la caja del regulador, ni haga manipulaciones en su interior.
- C. El regulador controla automáticamente el sistema. Ahora bien, cuando la luz roja está encendida espere que la batería tenga buena carga pues en caso contrario podría dañar irremediablemente la batería.



8.3 Mantenimiento de la batería

1. Colocar la batería sobre una madera.
 - Mantenga Los bornes engrasados para evitar la sulfatación y asegurar un buen contacto con las conexiones que se realicen.
 - Las baterías sin mantenimiento no necesitan adición agua destilada.
 - Limpiar los bornes con una lija suave, si estuviera sucio o sulfatado.
 - Mantenga limpia la batería.



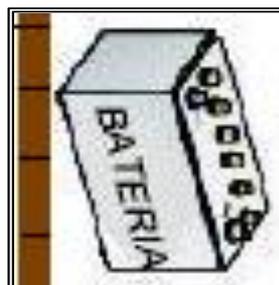
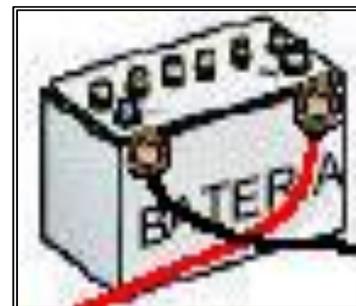
RECOMENDACIONES

Ubicación y advertencias

- No colocar objetos encima de la batería, si estos objetos son metálicos puede provocar un corto circuito y en consecuencia una explosión.
- Nunca desconecte la batería del sistema fotovoltaico, puede dañar el regulador
- No se sienta en la batería
- Impida que los niños se acerquen a la batería.

Cuidando la batería

- No invertir la polaridad, ya que producirá un corto circuito que dañara el sistema
- No tener inclinada la batería
- No use la batería del sistema para encender autos u otros artefactos, puede dañar la batería.



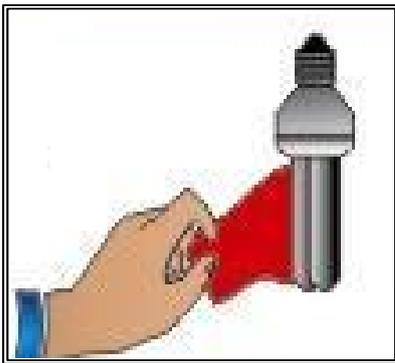
8.4 Mantenimiento de las luminarias

- En lugares donde existe humo (cocinas la limpieza de las lámpara debe realizarse con mayor frecuencia
- Cuando tenga que cambiar los focos utilice aquellos que sean iguales a los usados y debe observar que este bien conectados

Cuidando las luminarias

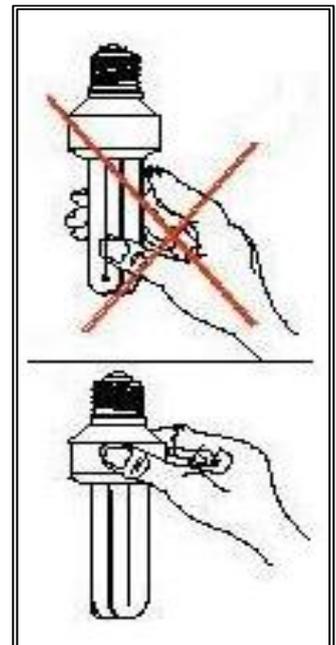
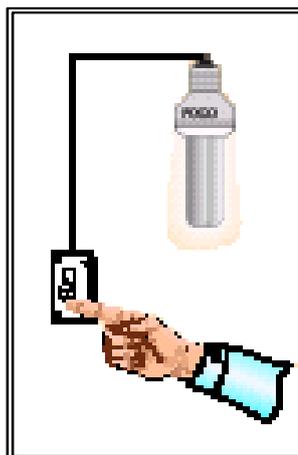
Si la luz verde del regulador está encendida y una de las lámparas no enciende:

- La lámpara puede estar quemada. Debe cambiar la lámpara.
- Si la lámpara no enciende luego de cambiar el tubo, verifique las conexiones.
- Si sigue igual verifique si el aviso luminoso color rojo esta encendido, en la cual indica que la batería esta a descargada.



RECOMENDACIONES

- Encienda sus lámparas solo cuando sea necesario, porque la batería se descarga más rápido cuando hay más lámparas encendidas.
- Debe tener en cuenta no coger las luminarias por el tubo. Debe de hacerlo por el borde.
- Limpie las lámparas con mucho cuidado cuando disminuyan su luminosidad.
- Evite que los niños jueguen con los interruptores.
- Si el foco no enciende saque y cambio por otro de similares características.



ANEXOS

ANEXO 1

LEGISLACIÓN Y NORMATIVA Y RENOVABLE

Desde los primeros proyectos de energía solar desarrollados a inicios de los años 80, la energía renovable ha evolucionado positivamente y hoy en día existe legislación y normativa, que permite la inversión privada y apoya los esfuerzos que están haciendo profesionales, empresas, universidades y ONGs por desarrollar este mercado.

A continuación, se enumeran todas las leyes, reglamentos y normas existentes:

Energías renovables interconectadas a la red (grandes sistemas)

- ⇒ Ley N° 1002, Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
- ⇒ D. S. N° 050-2008-MEM, Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.

Energías renovables para electrificación rural (pequeños y medianos sistemas)

- ⇒ Ley N° 28749, Ley general de electrificación rural.
- ⇒ D. S. N° 011-2009-EM, Modificación del D. S. N° 025-2007-EM, Reglamento de la Ley N° 28749.
- ⇒ Norma Técnica Peruana NTP 399.403-2006, Sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para la calificación energética de un sistema fotovoltaico.
- ⇒ Guía de instalación de sistemas fotovoltaicos domésticos (SFD)
- ⇒ Norma Técnica de Edificación EM 080, Instalaciones con energía solar

Las Normas Técnicas Peruanas (NTP) pueden ser adquiridas en el Instituto Nacional de Defensa al Consumidor y Propiedad Intelectual (INDECOPI) y tienen un costo. La demás normativa puede ser solicitada a la Dirección General de Electricidad del Ministerio y Minas en sin costo.

ANEXO 2

ESTIMACION DE LA MEDIA MENSUAL DE LA RADIACION SOLAR DIARIA EN EL PERU

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LAT	ALT	IRRADIACION DIARIA MEDIA MENSUAL EN kWh/m ²												MEDIA ANUAL
			GRAD	m	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	kWh/m ²
TUMBES	TUMBES	CORALES	3.6	85	4.6	4.9	5.1	4.9	4.5	4.1	3.0	3.9	4.2	4.2	4.6	4.9	4.5
PIURA	TALARA	EL ALTO	4.3	270	4.5	4.6	4.5	4.1	3.9	3.4	3.5	3.6	3.9	3.9	4.0	4.4	4.0
PIURA	HUANCABAMBA	HUANCABAMBA	5.2	57	4.6	4.8	4.5	4.7	4.4	4.2	4.4	5.0	5.1	4.9	4.4	4.9	4.7
LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	6.7	10	5.4	5.4	5.2	5.0	4.6	3.9	3.8	4.3	4.9	5.1	5.3	5.3	4.9
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	7.1	150	5.9	5.9	5.5	5.5	5.0	4.4	4.5	4.9	5.6	5.8	6.1	6.2	5.5
LA LIBERTAD	ASCOPE	CASAGRANDE	7.7	150	4.8	5.1	4.7	4.5	4.5	3.4	3.3	4.1	4.1	4.7	4.9	5.1	4.4
LA LIBERTAD	ASCOPE	CARTAVIO	7.9	51	5.0	6.1	5.0	4.7	4.8	3.8	3.6	4.4	4.3	4.9	5.3	5.5	4.8
ANCASH	SANTA	EMPEÑA	9.2	203	5.5	6.4	5.9	5.3	5.5	3.5	3.7	4.6	4.5	5.6	5.7	5.7	5.2
ANCASH	HUARAZ	HUARAZ	9.5	30	5.2	5.0	5.0	5.1	4.9	4.7	4.9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.2	5.1
LIMA	BARRANCA	PARAMONGA	10.7	15	5.3	4.4	5.1	4.7	2.7	1.9	2.3	2.1	2.7	4.3	4.9	5.5	3.0
LIMA	LIMA	JESÚS MARIA	12.1	10	5.5	5.3	5.2	5.0	5.6	2.3	2.0	2.2	2.4	3.3	4.0	4.8	3.8
LIMA	LIMA	LA MOLINA	12.1	150	4.3	4.9	4.2	4.3	3.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.8	3.3	4.2	3.4
ICA	CHINCHA	CHINCHA ALTA	13.4	94	5.3	4.7	4.9	5.0	3.5	2.7	2.6	3.2	3.9	4.8	5.6	4.9	4.2
ICA	ICA	CAUCATO	13.7	35	5.8	5.7	5.8	5.0	4.3	3.2	3.2	3.6	4.8	5.1	5.1	5.5	4.8
ICA	NAZCA	MARCONA	15.1	620	5.4	5.1	5.2	4.9	4.3	3.8	3.8	4.4	5.1	5.8	5.8	5.7	4.9
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	16.3	2150	5.4	5.1	5.0	5.2	4.5	4.4	4.5	5.1	5.7	6.1	6.5	6.2	5.3
AREQUIPA	AREQUIPA	CHARACATO	16.4	2451	5.2	5.0	5.2	5.1	4.6	4.4	4.6	5.2	5.7	6.6	6.5	5.9	5.3
AREQUIPA	AREQUIPA	PAMPA DE MAJES	16.5	140	5.8	5.5	5.7	5.4	4.7	4.5	4.8	5.3	5.0	6.7	6.6	6.4	5.6
MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA	17.2	1412	5.5	5.3	5.8	5.2	4.6	4.3	4.4	4.8	5.7	6.4	6.6	6.3	5.4
TACNA	TARATA	PAUCARANI	17.5	4541	5.1	5.3	5.0	5.8	4.8	4.7	4.8	5.5	5.8	6.2	6.1	5.6	5.4
TACNA	TACNA	CALANA	17.9	875	5.6	5.5	5.2	4.8	4.2	3.8	4.0	4.4	4.9	5.7	6.0	5.9	5.0
CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	7.1	2640	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.8	4.5	4.4	4.6	4.9	4.7	4.5
HUANUCO	LEONCIO PRADO	TINGO MARIA	9.1	640	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.9	4.6	4.5	4.5	4.2	3.9	4.0
HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO	9.9	1895	4.5	4.3	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	4.7	4.7	4.9	4.9	4.7	4.5
JUNIN	CHANCHAMAYO	HUMAYA	11.1	-1	5.1	5.3	5.3	4.7	4.6	3.5	3.6	4.3	4.2	5.0	4.9	5.3	4.7
JUNIN	HUANCAYO	HUACHAC	12	1150	5	4.9	4.7	4.7	4.6	4.4	4.5	4.8	4.9	5.3	5.4	5.2	4.9
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	ACONOCOCHA	13.1	4520	4.9	3.7	4.1	4.3	4.2	4.6	4.3	4.6	4.9	4.9	5.2	4.9	4.6
AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	13.2	2760	5.1	5.1	4.7	4.7	4.5	4.2	4.2	4.7	5.0	5.4	5.7	5.3	4.9
APURIMAC	ABANCAY	ABANCAY	13.6	2378	4.8	4.7	4.7	4.6	4.4	4.2	4.2	4.7	5.0	5.5	5.4	5.0	4.7
CUZCO	LA CONVENCION	SANTA ANA	12.9	920	4.0	4.0	4.0	3.8	3.9	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.3	4.9	4.0
CUZCO	CUZCO	SAN JERONIMO	13.6	320	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.3	4.4	4.6	4.9	5.2	5.2	4.8	4.7
PUNO	PUNO	PUNO	15.8	3875	5.1	5.2	5.1	5.1	4.6	4.4	4.6	5.0	5.5	6.0	6.0	5.6	5.2
AMAZONAS	BAGUA	HDA. VALOR	5.7	421	4.1	4.2	4.4	4.4	4.1	4.2	4.1	4.6	4.8	4.9	5.3	4.8	4.5
SAN MARTIN	SAN MARTIN	JUAN GUERRA	6.6	30	3.9	4.0	3.8	3.4	3.7	3.6	3.9	4.2	4.2	4.3	4.2	4.1	4.0

LORETO	MAYNAS	IQUITOS	3.8	125	3.4	3.7	3.5	3.7	3.0	3.1	3.7	4.2	4.7	3.8	4.2	3.8	3.7
LORETO	REQUENA	REQUENA	5.0	180	3.9	4.0	3.7	3.5	3.4	3.4	3.7	4.2	4.3	4.4	4.2	3.8	3.9
UCAYALI	PADRE ABAD	PADRE ABAD	8.5	270	4.0	3.9	3.8	3.5	3.7	3.5	4.0	4.6	4.6	4.5	4.2	4.1	4.0
UCAYALI	ATALAYA	YURAC-YURAC	9.0	-1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0	3.3	3.8	4.0	3.5	3.4	3.2	3.1
MADRE DE DIOS	TAHUAMANU	IBERIA	11.4	150	3.7	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5	3.8	4.3	4.3	4.1	4.2	3.9	3.9

Estos datos son calculados, en base a mediciones de horas de sol, h, por día, usando la fórmula de Angstrom:

$H/H_0 = a + b(h/h_0)$, H_0 = energía solar extraterrestre, h_0 = horas de sol en cielo claro, H = energía solar calculada.

Es una adaptación propia a partir de la fuente original: Vásquez, J.W. & Lloyd, P., Estimación de la energía solar en el Perú, en Revista Energética, OLADE, AÑO 11 N° 1, abril de 1987.