



CAPACITACIÓN e INSTALACIÓN de SISTEMAS FOTOVOLTAICOS en las COMUNIDADES de CARMEN del EMERO y YOLOSANI

CONTENIDO

GLOSARIO DE TÉRMINOS	3	COMPONENTES DE LOS SFV	13
INTRODUCCIÓN	4	Paneles solares	13
EL SOL Y LA ENERGÍA	5	Baterías	14
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)	6	Controladores	16
Breve historia	6	Inversores	17
Ventajas y desventajas	7	Cableado del SFV	18
Componentes del sistema fotovoltaico y principios de funcionamiento	7	Cargas	19
Configuraciones de los sistema fotovoltaicos	7	DIMENSIONAMIENTO, INSTALACIÓN Y CAPACITACIÓN DE UN SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN FOTOVOLTAICA EN LA UNIDAD EDUCATIVA DE CARMEN DEL EMERO	20
PRINCIPIOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD EN LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	9	Dimensionamiento	21
Tipos de corriente	10	Capacitación e instalación	23
Circuitos eléctricos	11	DIMENSIONAMIENTO, INSTALACIÓN Y CAPACITACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DE AGUA PARA RIEGO EN LA COMUNIDAD DE YOLOSANI	32
Circuitos en serie y en paralelo de las fuentes de energía	11	SFV y el bombeo de agua	32
		Componentes del sistema de riego de bombeo solar	33
		Dimensionamiento del sistema	34
		Instalación y capacitación	36
		REFERENCIAS	39

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Sistema fotovoltaico (SFV): Son sistemas que producen electricidad a partir de la luz solar.

Celda fotovoltaica: Dispositivos fabricados con silicio, destinados a generar energía eléctrica a partir de la luz solar.

Módulo o panel: Configuración de celdas fotovoltaicas laminadas entre un superestrato (vidrio) y un sustrato encapsulado.

Arreglo o matriz: Está constituido por uno o más paneles conectados.

Controlador o regulador de carga: Equipo utilizado para regular la carga o voltaje de las baterías.

Baterías: Dispositivo que almacena energía eléctrica de corriente directa (CD) por medios químicos.

Inversor: Dispositivo eléctrico que transforma la corriente directa (CD) en corriente alterna (CA).

Corriente directa (CD): Es el tipo de corriente eléctrica que fluye en una dirección. Las baterías y módulos fotovoltaicos suministran corriente directa.

Corriente alterna (CA): Es la corriente eléctrica en la que la dirección del flujo se invierte a intervalos con una frecuencia regular. Este tipo de corrientes es producido por alternadores. Las compañías de electricidad suministran corriente alterna.

Cargas CD: Dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados por corriente directa.

Cargas CA: Dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados por corriente alterna.

Electricidad: Es el flujo de los electrones a través de un circuito. Es una forma de energía que produce efectos luminosos, mecánicos, caloríficos, químicos, entre otros.

Voltio (V): Es la unidad de fuerza que provoca el movimiento de los electrones en un alambre. Los valores de voltaje utilizados más frecuentemente son 12V y 24V en corriente continua. La mayoría de los hogares usan sistemas de 220V en corriente alterna.

Amperio (A): Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica que pasa por un cable. Así como una tubería se mide por el flujo de agua que pasa por ella, un cable se mide por el flujo de electrones.

Vatio o Watt (W): Es la unidad de potencia eléctrica producida por un diferencial de potencia de un voltio y una corriente eléctrica de un amperio. La potencia expresada en watts indica el ritmo con el cual un aparato utiliza la energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en dispositivos denominados módulos fotovoltaicos. En los módulos fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

La energía fotovoltaica es de gran utilidad sobre todo en regiones aisladas donde no existe instalación de red eléctrica, situación generalizada en la que se encuentran comunidades indígenas en nuestro país.

Los usos más comunes de energía fotovoltaica en áreas rurales son: a) en la electrificación rural y viviendas aisladas; b) en las comunicaciones (los generadores fotovoltaicos son una solución cuando hay la necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado con radiotransmisores); c) en la agricultura y ganadería (mediante SFV se podría obtener energía para aislar potreros, realizar el riego mediante bombas solares y hacer vigilancia forestal para la prevención de incendios); d) en la alimentación de pequeños refrigeradores para la conservación de medicinas y vacunas en postas de salud.

Existen muchos sistemas fotovoltaicos instalados a nivel de comunidades en Bolivia, sin embargo es una realidad que una vez que se instalan, el mante-

nimiento y uso adecuado queda a cargo de las comunidades. Sin una capacitación adecuada, los sistemas han ido quedando en desuso, creando además susceptibilidades sobre la sostenibilidad de los sistemas.

En el marco del proyecto “Mejoramiento de la calidad de grano seco de cacao nacional a través del uso de energías renovables durante la post cosecha, para el beneficio de productores indígenas del norte paceño”, ejecutado por Wildlife Conservation Society (WCS) y Soluciones Prácticas con el apoyo del Programa Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina (AEA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), y con el aporte financiero del Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia (MAEF), se contempló un resultado referido a la capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani, con el objetivo de difundir los beneficios de los SFV en el mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores y el mejoramiento de la producción.

Este documento describe los principios básicos teóricos utilizados en ambas experiencias en las cuales participaron jóvenes de cuarto, quinto y sexto de secundaria, profesores y productores. Esperamos que su difusión motive a los jóvenes a profundizar sus conocimientos sobre la energía solar fotovoltaica y se constituyan en un apoyo técnico para el mantenimiento y reparación de los sistemas instalados.

El sol y la energía

Casi toda la energía que disponemos en nuestro planeta proviene del sol. Él es la causa de los vientos, de la evaporación de las aguas superficiales, de la formación de nubes, de las lluvias y, por consiguiente, de los saltos de agua. La energía que proviene de recursos renovables, como el viento, las olas o la biomasa son manifestaciones indirectas de la radiación solar¹.

Los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural fueron generados por fósiles de algas, bacterias, plantas y organismos marinos primitivos comprimidos por la presión y el calor del subsuelo terrestre. Todos ellos compartían una característica importante: se alimentaban a través de la fotosíntesis, almacenando la energía del sol que era transformada en compuestos orgánicos. Es decir que la energía que contienen los combustibles fósiles es en realidad energía solar almacenada y concentrada durante millones de años (Caporale, 2014).

La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es aproximadamente de $5,4 \times 10^{24}$ J, una cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume².

La energía solar llega a la superficie de la Tierra por dos vías diferentes: incidiendo en los objetos iluminados por el Sol, denominada radiación directa, o por reflexión de la radiación solar absorbida por el aire y el polvo atmosférico, llamada radiación difusa. La primera es aprovechable de forma directa, mientras que las celdas fotovoltaicas aprovechan ambos tipos de radiación.

A pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada lugar.

En Bolivia, por su situación geográfica, la oferta energética solar es en promedio de $6\text{kWh/m}^2/\text{día}^3$; esta fuente energética puede convertirse en un importante medio para solucionar problemas de abastecimiento energético, sobre todo en áreas rurales aisladas, donde la instalación de la red eléctrica es muy costosa o técnicamente dificultosa.

La creciente demanda de energía de estas poblaciones aisladas ha incrementado el interés hacia el estudio de nuevas fuentes de energía, de las cuales la energía fotovoltaica es la más destacada.

1 http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/El_Sol_fuente_basica_de_energia.asp

2 <http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.01.18.06/4.01.18.06.htm>

3 Mapa de radiación solar en Bolivia – UMSA, 2010 (http://www.pamasoft.net/phocos3/archivos/Documentos_y_articulos_de_interes/mapa_radiacion_solar_bolivia.pdf)

Sistemas fotovoltaicos (SFV)

Breve historia

El inicio de los sistemas fotovoltaicos se remonta al siglo XIX, cuando en 1873 el científico británico Willoughby Smith observó que el selenio era sensible a la luz y que su capacidad de conducción de electricidad aumentaba en proporción directa con la exposición a la luz. Ya en 1880, Charles Fritts desarrolló la primera celda eléctrica que producía electricidad sin consumir ninguna sustancia ni producir calor.

En 1954 la empresa Bell Telephone Systems desarrolló una celda basada en silicio que alcanzaba una eficiencia del 6%. En 1960, los investigadores de la NASA, instalaron en el primer satélite artificial de los Estados Unidos un sistema fotovoltaico constituido por 108 celdas, como una fuente de energía ligera y confiable. Actualmente los módulos brindan electricidad a más de un millón de hogares en todo el mundo y han diversificado sus aplicaciones hacia la comunicación, refrigeración para los servicios médicos, riego de cultivos, purificación de agua, vigilancia, entre otros. (SEI, 2008).

Los especialistas predicen que la tecnología fotovoltaica será la forma de energía comercial de más rápido crecimiento hasta el 2030.

Ventajas y desventajas

Ventajas

- › Los SFV son confiables aún en las condiciones más extremas.
- › Durabilidad, la mayoría de los módulos fotovoltaicos duran más de 20 años.
- › No tiene costos por uso de combustible.
- › Reducen la contaminación sonora ya que operan silenciosamente.
- › Los módulos pueden ser añadidos gradualmente para incrementar la energía disponible.

Desventajas

- › El costo inicial de instalación es todavía alto.
- › Las instalaciones requieren de personal calificado y capacitado. El mal dimensionamiento del sistema, por ejemplo, un banco de baterías demasiado pequeño o demasiado grande para un arreglo fotovoltaico puede provocar el desuso del sistema a corto plazo.
- › En sistemas que utilizan baterías, el mantenimiento de las mismas constituye un problema, sobre todo en lugares alejados.
- › La eliminación de los componentes de los sistemas fotovoltaicos provoca un peligro ambiental moderado. La mayoría de sus componentes pueden ser reciclados, excepto los semiconductores.

Componentes del sistema fotovoltaico y principios de funcionamiento

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes o equipos desarrollados e integrados entre sí para realizar las siguientes funciones:

Funciones	Componentes
Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica	Panel fotovoltaico
Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada	Baterías
Controlar y regular la carga o voltaje de las baterías	Regulador de carga
Proveer adecuadamente la energía generada y almacenada	Inversor (CD/CA)
Utilizar eficientemente la energía generada y almacenada	Cargas CD/ CA

Configuraciones de los sistema fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser configurados de muchas maneras dependiendo de las necesidades del usuario, la disponibilidad de equipos y el costo. Existen tres grupos:

- Sistemas autónomos o independientes, cuyo funcionamiento solo depende de la luz del sol.
- Sistemas híbridos, que integran otras fuentes de energía, por ejemplo incorporan un generador que funciona con diésel o con gas, lo que puede reducir significativamente la inversión inicial, sobre todo cuando se requieren alimentar grandes cargas como lavadoras, secadoras o máquinas y herramientas.
- Sistemas interconectados a la red pública de electricidad.

Los sistemas autónomos son los más utilizados en las áreas rurales, precisamente para evitar el uso de combustible y porque no cuentan con una red de electricidad. Los más comunes son:

SFV directamente conectados a una carga

Es el sistema más simple en el cual el módulo fotovoltaico se conecta directamente a la carga, normalmente un motor de corriente directa (CD). No requiere baterías ni componentes electrónicos, es un sistema de uso diurno, es decir que al no existir baterías, la energía no puede ser almacenada y solo puede ser utilizada durante el día.

Ejemplo: Un ventilador que funciona con corriente directa, puede conectarse directamente a un panel solar y funcionar solamente durante el día (figura 1).

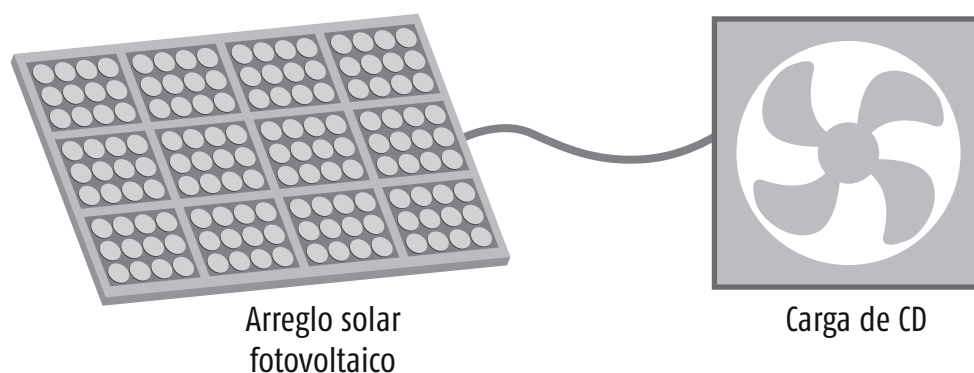


Figura 1. Sistema de uso diurno

SFV de corriente directa con cargador fotovoltaico y baterías de almacenamiento

Son utilizados para operar cargas de corriente directa durante la noche, incluyen un medio de almacenamiento (baterías) que son alimentadas durante el día. Las cargas de consumo del sistema pueden ser alimentadas desde las baterías durante el día o la noche. Requiere de un regulador de carga para que la batería no se sobrecargue. El tipo de corriente que produce este sistema es corriente directa (figura 2).

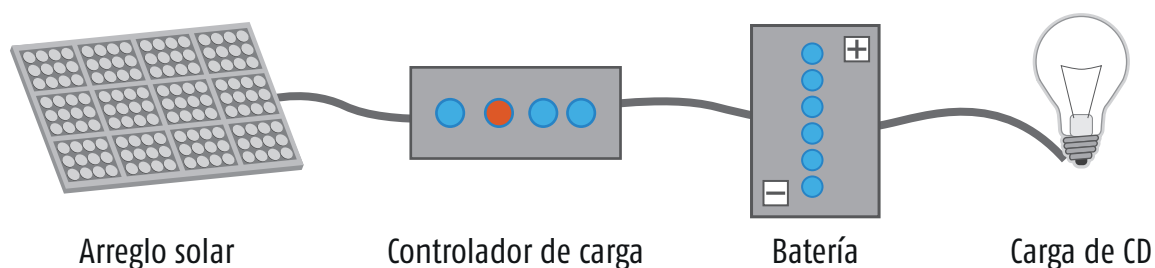


Figura 2. Sistema con baterías

SFV de corriente directa que alimentan cargas de corriente alterna

Los módulos fotovoltaicos producen corriente eléctrica directa (CD), pero muchos aparatos comunes necesitan corriente alterna (CA). Los SFV para alimentar cargas de corriente alterna utilizan un inversor para convertir la electricidad CD en electricidad CA (figura 3).

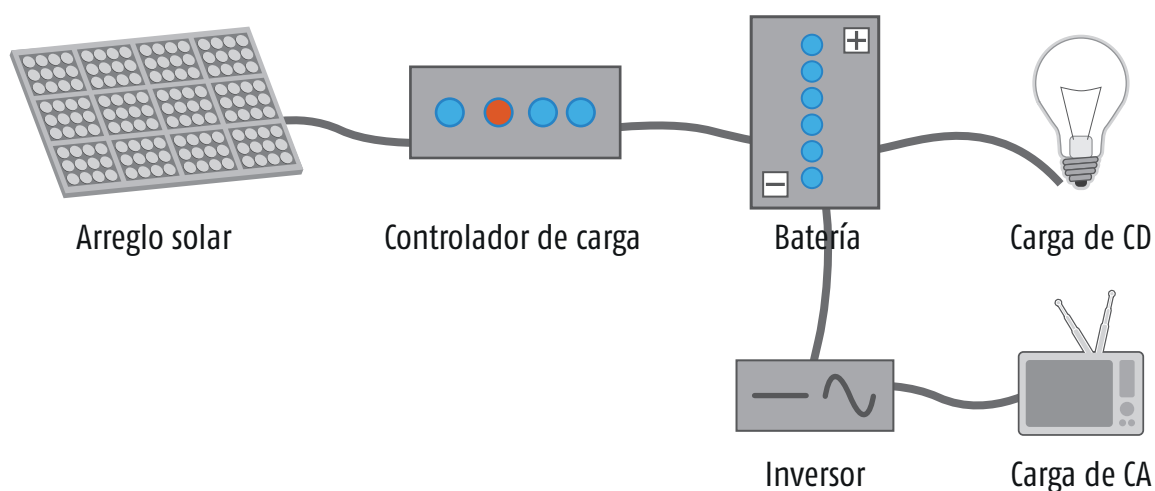


Figura 3. Sistemas con cargas CA y CD

Principios básicos de electricidad en la energía fotovoltaica

La electricidad es el flujo de electrones a través de un circuito. La fuerza o presión de los electrones que se mueven en un circuito se mide como voltaje, su unidad es el voltio (V) y el ritmo con el que fluyen los electrones se mide como amperaje, que se expresa en amperios (A). La potencia del sistema se mide en watts o vatios (W).

Una corriente de un amperio por una hora, se utiliza para describir la capacidad de almacenaje de una batería (A-H).

La potencia se obtiene al multiplicar el voltaje (V) por la corriente (A).

$$P = V \times A$$

Donde:

P= Potencia, expresada en watts (W)

V= Voltaje, expresado en voltios (V)

A= Corriente, expresada en amperes (A)

1000 W = 1Kilo Watt (kW)

$$E = P \times h$$

Donde:

E= Potencia, expresada en watts-hora (Wh)

P= Potencia, expresada en watts (W)

h= Horas (h)

1000 Wh = 1 Kilo Watt-hora

Tipos de corriente

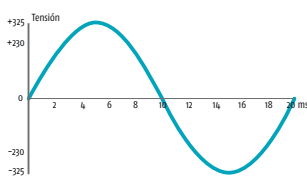


Fig 4. Representación gráfica de CA

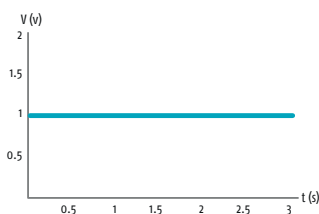


Fig 5. Representación gráfica de CD

Hay dos tipos de corriente: La corriente alterna (CA), es la corriente eléctrica en la que el flujo se invierte a intervalos con una frecuencia regular (figura 4). Este tipo de corriente es producida por alternadores, a través de su campo magnético, hace que los electrones fluyan primero en una dirección y luego en la opuesta. Las compañías de luz proporcionan corriente alterna. La mayoría de los electrodomésticos trabajan con corriente alterna.

El segundo tipo es la corriente directa (CD), también se conoce como corriente continua, es el tipo de corriente eléctrica producida por un generador que fluye solo en una dirección (figura 5). Las baterías y módulos fotovoltaicos suministran CD, las baterías de los teléfonos celulares utilizan la CA y la transforman en CD.

Cuando se escoge un electrodoméstico u otro equipo (cargas) para usar con un SFV se deben verificar dos cosas:

- El voltaje del equipo debe coincidir con el voltaje que se le suministre. La fuente de energía, la batería, el generador o módulo fotovoltaico, determinan el voltaje suministrado.
- Un aparato eléctrico deberá ser compatible con el tipo de corriente que se le suministre CA o CD.

Circuitos eléctricos

Un circuito eléctrico es la trayectoria continua del flujo de electrones desde una fuente de voltajes, tal como una batería o un módulo fotovoltaico, a través de un conductor (cable) hasta una carga y su regreso a la fuente (SE, 2008).

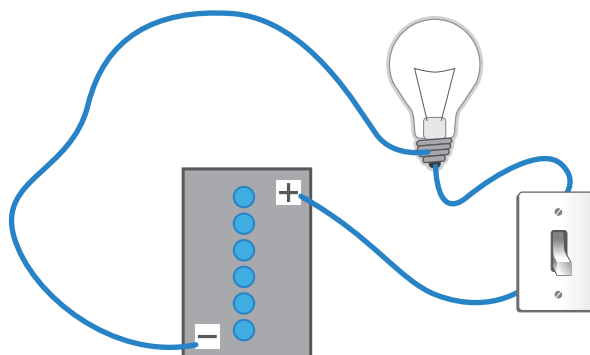


Figura 6. Circuito eléctrico

La figura 6 muestra una fuente de voltaje simple, la batería de 12V conectada a una carga simple, un bombillo de 12V y 24 W con un interruptor para encender y apagar la luz. El interruptor controla la continuidad del flujo de la corriente. Si el interruptor está en posición de encendido, el circuito estará cerrado, dando continuidad entre la fuente y la carga y el foco se encenderá. Si el interruptor está en posición de apagado, el circuito estará abierto, el alambre entre la fuente y la carga estará desconectado y por tanto la luz apagada.

Circuitos en serie y en paralelo de las fuentes de energía

Cada módulo o batería tiene un valor de voltaje o amperaje y pueden conectarse entre sí para obtener el voltaje deseado para el sistema:

Circuito en serie: Se forma cuando se conectan el terminal positivo (+) de un módulo al terminal negativo (-) de otro módulo, para incrementar el voltaje. La conexión en serie no aumenta la corriente producida o el amperaje (figura 7).

Ejemplo: Si se requiere un arreglo de 24V y 3A, a partir de dos paneles de 12V y 3A, al conectarlos en serie, la potencia se suma.

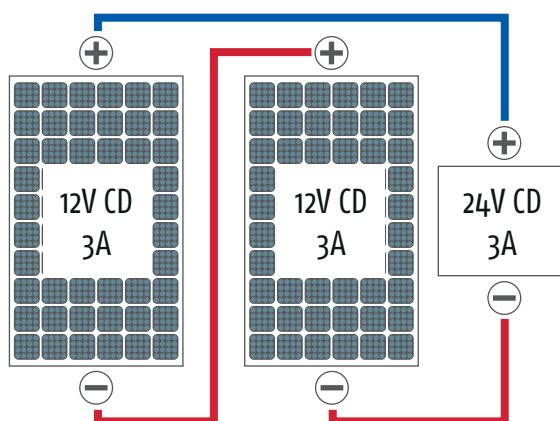


Figura 7. Módulos conectados en serie

Circuito en paralelo: La conexión de módulos se hace entre los terminales de positivo (+) a positivo (+) y de negativo (-) a negativo (-). Cuando las fuentes se conectan en paralelo, las cargas se suman y el voltaje aplicado al circuito permanece igual. Se utiliza para aumentar el amperaje o corriente de un sistema (figura 8).

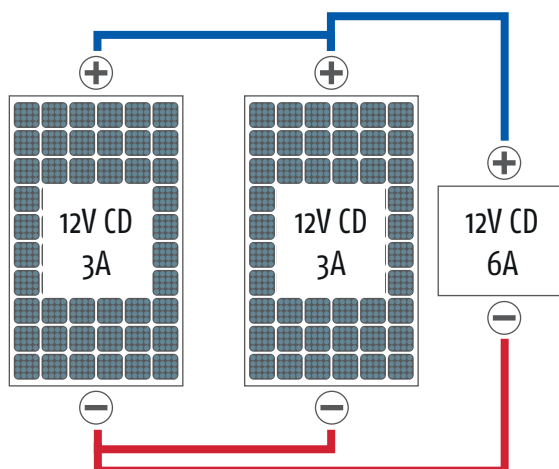


Figura 8. Módulos conectados en paralelo

Circuitos en serie y en paralelo: Los circuitos pueden usar una mezcla de conexiones en serie y en paralelo para obtener los voltajes y las corrientes necesarios.

En la figura 9, se conectan en modo serie-paralelo cuatro módulos de 12V y 3A. Los módulos se conectan en serie de dos en dos, lo que incrementa el voltaje a 24V. Cada tira se conecta en paralelo incrementando la corriente a 6A. El resultado es un sistema de 24V CD y 6A.

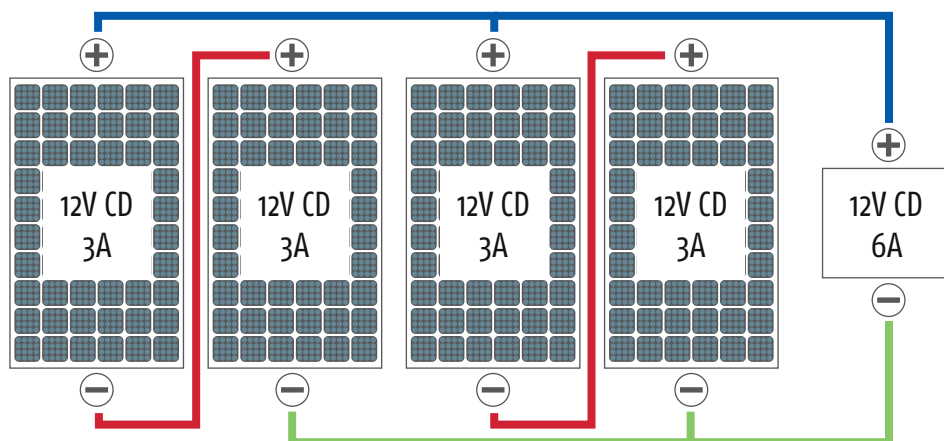


Figura 9. Módulos conectados en serie y en paralelo

Componentes de los SFV

Paneles solares

La unidad básica de un SFV es la celda fotovoltaica. Son dispositivos eléctricos, cuyo principal componente es el silicio, que convierten la luz del sol en corriente eléctrica directa, gracias al efecto fotovoltaico.

Un **módulo** o **panel** es un conjunto de celdas conectadas en serie o en paralelo para producir los voltajes y corrientes deseados. La mayoría de las celdas producen medio

voltio. Un módulo típico tiene 36 celdas, por lo tanto tendrán un voltaje de 18V, bajo condiciones estandarizadas y un voltaje nominal de 12V.

Un **arreglo** es un grupo de paneles conectados para producir los valores deseados de corriente y voltaje y están fijos a una estructura de montaje.

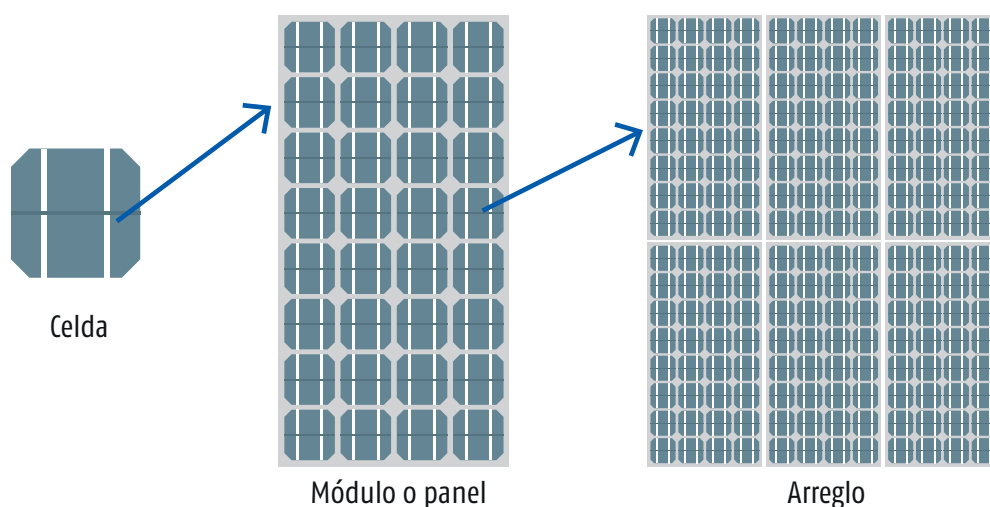


Figura 10. Celda, panel y arreglo fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas no necesitan partes móviles para crear energía eléctrica a partir de la energía solar. Cuando la luz del sol incide sobre una celda, libera electrones de la capa de silicio, se excitan los electrones y se genera el voltaje y la corriente desde la celda a un circuito eléctrico. La duración promedio de un panel es de 20 años, el mantenimiento que requieren es mínimo, se debe limpiar con un paño seco para evitar que el polvo impida su óptimo funcionamiento.

Desempeño de los paneles

El valor nominal de potencia y voltaje de los módulos se presentan bajo condiciones estandarizadas de medida de 1000W/m^2 y 25°C de temperatura de la celda. Los factores ambientales que afectan el desempeño de los paneles son:

a. Aumento de la radiación

La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del sol con el horizonte, por lo que es importante la adecuada colocación de los paneles.

Un mediodía a pleno sol equivale a una radiación de 1000W/m^2 . Cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los 100W/m^2 . La corriente que entrega un módulo es proporcional a la intensidad de la radiación a la que está expuesto, sin embargo el voltaje no cambia apreciablemente por variaciones en la intensidad de la luz.

b. Temperatura de la celda

A medida que aumenta la temperatura de la celda por encima de 25°C , el módulo opera menos eficientemente y el voltaje disminuye. Por ello el aire alrededor de todo el módulo es crítico para eliminar el calor acumulado que causan las altas

temperaturas a la celda. Por eso es importante una estructura que proporcione un flujo de aire a los paneles.

Aunque un panel tenga un valor nominal de 100W, si el sistema se instala en un clima cálido es poco probable que produzca 100W. En promedio los valores reales de potencia serán aproximadamente el 88% de los valores nominales.

c. Sombreado

El sombreado, aún sea parcial, de los módulos fotovoltaicos puede resultar en una reducción notable en la salida de corriente. Una celda completamente sombreada, reduce la salida del módulo hasta en un 75%. Como mínimo el arreglo no puede recibir sombra de 9:00am a 3:00pm. Si hay sombra durante este período se necesitarán más módulos para producir la potencia adecuada. Por lo tanto localizar los obstáculos que producen sombra en el sitio es de suma importancia.

d. Orientación e inclinación de los paneles solares

Se considera un estándar en Bolivia orientar los paneles hacia el norte con una inclinación de 30° sobre la horizontal, esta orientación garantiza que la radiación captada por el panel sea la mayor posible durante la época de menor radiación.

Baterías

Las baterías almacenan energía eléctrica de CD en forma química. Su función es la de acumular la energía que se produce durante las horas del día para poder ser utilizada durante la noche o cuando haga mal tiempo (día nublado, lluvioso). También tienen la función de proveer una intensidad de corriente mayor a la generada por el SFV, por ejemplo para el encendido de un televisor.

Las baterías más utilizadas en los SFV son las de plomo-ácido de ciclo profundo. Estas pueden ser de líquido ventilada (vaso abierto) y las selladas



Batería de plomo-ácido tipo vaso abierto



Batería de plomo-ácido sellada

Las **baterías tipo vaso abierto** son muy parecidas a las de los automóviles, la diferencia principal es que las baterías para SFV están diseñadas para trabajar en "ciclo profundo" es decir, descargan pequeñas cantidades de corriente por largos periodos de tiempo; mientras que las baterías para automóviles están diseñadas para descargar grandes cantidades de corriente durante cortos intervalos de tiempo, para encender un motor y luego inmediatamente ser recargadas por el alternador. Por lo tanto no es recomendable utilizar baterías para automóviles para cargas residenciales y sistemas de energía renovable en general.

Las baterías de ciclo profundo pueden ser descargadas hasta un 80% y pueden durar hasta 10 años con un mantenimiento adecuado.

La batería está hecha de placas positivas y negativas de plomo y aleaciones de plomo sumergidas en una solución electrolítica de ácido sulfúrico y agua. Cuando la batería se acerca a la carga completa se produce hidrógeno gaseoso que es expulsado. Cuando las aberturas de salida de la batería eliminan gases se pierde agua, por lo cual debe rellenarse periódicamente. Las baterías de ciclo profundo durarán más si se protegen de descargas completas y se les da mantenimiento periódico para la reposición de agua acidulada.

Las baterías selladas, no tienen tapa y por lo tanto no se tiene acceso al electrolito y se consideran libres de mantenimiento; son a prueba de derrame ya que el electrolito se encuentra en estado gelificado. Estas razones las convierten en una buena elección para aplicaciones lejanas donde el mantenimiento regular es improbable o no resulta económico.

Las baterías de plomo ácido necesitan controles para evitar tanto sobrecargas como descarga total, Estos controladores trabajan monitoreando el voltaje de la batería, el cual crece cuando la batería se carga y cae cuando la batería se descarga.

Especificaciones de las baterías

- a. Días de autonomía:** Se refiere al número de días en que un sistema de baterías suministrará una carga determinada sin ser recargado con el SFV.
- b. Capacidad de las baterías:** Se valora por su capacidad en ampere-hora (Ah). La capacidad se basa en la cantidad de energía necesaria para operar las cargas y días de autonomía. Profundidad y régimen de descarga: El ritmo al cual la batería se descarga afecta directamente a su capacidad. Si la batería se descarga rápidamente hay menos capacidad disponible. Por el contrario, una batería que se descarga lentamente tendrá una gran capacidad.
- c. Esperanza de vida:** Es común pensar en la esperanza de vida en términos de años, sin embargo, los fabricantes de las baterías especifican la esperanza de vida en términos de cantidad de ciclos. Las baterías pierden capacidad con el tiempo y se consideran que han llegado al fin de su vida cuando se ha perdido un 20% de su capacidad original.
- d. Voltaje:** Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12 o 24V.
- e. Condiciones ambientales:** Las baterías son sensibles a su entorno. Los fabricantes generalmente evalúan las baterías a 25°C. La capacidad de la batería decrecerá a menores temperaturas pero incrementará su vida útil. La capacidad de la batería se incrementará a temperaturas mayores pero su vida útil se verá reducida.

Consideraciones de seguridad y mantenimiento

- Mantener las baterías alejadas de los espacios habitados.
- Ventilar la caja de la batería hacia el exterior.
- Mantener los cables de la batería del mismo largo.
- Las conexiones en paralelo deben ser mínimas.
- Los cables hacia el inversor deben salir por debajo de la caja de las baterías
- Lo último que se conecta son los baterías.
- Nunca mezclar diferentes tipos de baterías.
- No mezclar baterías nuevas con baterías viejas.
- No usar joyas de metal cuando se manipulan las baterías.
- Manipular las baterías con herramientas adecuadas que tenga materiales aislantes.
- Colocar las baterías en un sitio donde no lleguen los rayos de sol y sea ventilado para que los gases se dispersen fácilmente y no se moje con la lluvia.
- Tener en cuenta que las baterías deben estar cerca del regulador de carga.

Controladores



El controlador fotovoltaico trabaja como un regulador de voltaje. La principal función es evitar que la batería sea sobrecargada por el sistema de paneles y protegerla de que se descargue demasiado por las cargas de consumo de corriente directa.

El controlador monitorea constantemente el voltaje de la batería, cuando las baterías están completamente cargadas, el controlador detendrá o disminuirá la cantidad de corriente que circule desde los paneles hacia las baterías. Cuando las baterías se descargan a un nivel muy bajo, desconectarán la corriente que fluye de las baterías a los aparatos conectados (cargas de consumo de CD).

Si se usa más de un controlador, es necesario dividir el arreglo en subarreglos. Cada subarreglo será conectado a su propio controlador y todos ellos conectados al banco de baterías.

Inversores



Los SFV generan energía de corriente directa y las baterías solo pueden almacenar la energía en forma de corriente directa. La mayoría de los aparatos y cargas operan con corriente alterna. Por su naturaleza, la CD no es compatible con la CA, por lo que se hace necesario un "puente" o inversor entre las dos.

El propósito fundamental del inversor en un SFV es cambiar la CD de los módulos fotovoltaicos y de las baterías a CA y finalmente posibilitar el funcionamiento de las cargas de CA. Se basan en el empleo de dispositivos electrónicos que actúan a modo de interruptores, permitiendo interrumpir las corrientes e invertir su polaridad.

Especificaciones de inversores en SFV autónomos

- Potencia de salida de CA (Watt): Nos indica cuanta potencia puede brindar un inversor durante su operación. Se debe elegir un inversor que satisfaga la demanda pico del sistema. Es decir el inversor debe ser capaz de manejar todas las cargas de CA que puedan estar encendidos al mismo tiempo.
- Voltaje de entrada de CD desde la batería: El inversor especificará que salida de voltaje nominal CD se permite desde las baterías. Los voltajes típicos son 12V, 24V y 48V.
- Voltaje de salida: El inversor especificará el voltaje de salida de CA. El valor típico es de 220V.
- Frecuencia: Un inversor debe mantener una salida de 50 a 60Hz.

Las características deseables en un inversor son:

- Alta eficiencia, la mayoría de los inversores actualmente convierten un 90% o más de la CD de entrada en CA de salida.
- Baja pérdida de espera, el inversor debe mantener 50 a 60Hz en la salida a pesar de que varíen las condiciones de entrada.
- Distorsión armónica, el inversor debe suavizar los picos de salida indeseables para minimizar efectos de calentamiento dañinos en los aparatos conectados.
- Fiabilidad, el inversor debe brindar la confianza de un bajo mantenimiento largo plazo.

Cableado del SFV

Los sistemas de cableado de CD son diferentes a los sistemas de CA. Los sistemas CD usan bajo voltaje y fluyen en una sola dirección.

Los tipos de cables se diferencian en el material conductor y el aislante. Los materiales conductores más comunes son el cobre y el aluminio. El cobre tiene mayor conductividad y por lo tanto puede llevar más corriente que el de aluminio. El conductor puede ser sólido o retorcido. Los conductores retorcidos tienen mayor flexibilidad y son los más recomendados cuando se requieren grandes extensiones de cable.

El aislamiento que recubre el conductor debe brindar protección contra el calor, la abrasión, la humedad, la radiación ultravioleta y los agentes químicos. Los cables que serán expuestos a la radiación solar deberán estar etiquetados "resistentes al sol". El aislamiento del cable tiene un código de colores para designar su función y uso.

Para la selección del tamaño de los cables se deben considerar dos criterios importantes:

- a. Capacidad de corriente, que está referida a la capacidad que tiene de transportar corriente. Mientras más grueso es el alambre tiene mayor capacidad de transportar corriente. El uso de un cable con menor capacidad de corriente puede provocar el sobre-calentamiento, lo que significa pérdida de energía y eficiencia, que el material aislante se derrita y se produzca un cortocircuito.
- b. Caída de voltaje o de tensión, que es la pérdida de tensión a causa de la longitud y resistencia del cable. Está en función de tres parámetros: el calibre del cable, la longitud del cable y la corriente que fluye por el cable. A mayor longitud del alambre existe una mayor resistencia al flujo de la corriente. Líneas de alambre excesivamente largas darán lugar a pérdidas de energía que van a las cargas y una disminución de la eficiencia del sistema. También reducirá la esperanza de vida de los aparatos y equipos. Usar un cable más grueso y/o acortar la longitud de los cables son soluciones para evitar la caída de voltaje.

Considere siempre que el propietario del sistema podría desear añadir más cargas al sistema, sin cambiar los cables de las líneas conductoras.

Conexión a tierra

La conexión a tierra permite limitar los voltajes debido a los relámpagos y la sobretensión en las líneas o contactos no intencionales con líneas de voltajes superiores. También permite estabilizar los voltajes y brindar la tierra como un punto de referencia común.

La conexión del sistema a tierra se realiza tomando uno de los conductores de un sistema de dos alambres y conectándolos a tierra.

Cargas

Los dispositivos que en su operación utilizan energía eléctrica son conocidos como cargas. Con frecuencia son las cargas las que determinan el tamaño y el costo de SFV. Las cargas CD son dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados con corriente directa (CD). Y las cargas CA son dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados por corriente alterna (CA).

Al momento de diseñar el sistema se pueden reducir los costos a través del uso eficiente de la energía disponible, analizar rigurosamente los requisitos energéticos de las cargas para poder identificar las oportunidades de conservación.

Por ejemplo, muchos electrodomésticos utilizan resistencia eléctrica para funcionar. Como regla general, el alimentar cargas con resistencia eléctrica, puede ser económicamente prohibitivo para SFV domiciliarios o de pequeña escala. Ejemplos de estas cargas son calentadores eléctricos de agua y hornos eléctricos. Sin embargo, algunos electrodomésticos como tostadoras, secadores de pelo y otras, si bien exigen cantidades significativas de potencia instantánea, pueden ser alimentados por SFV, porque estas cargas no se utilizan por largos periodos de tiempo y su consumo general de energía es bajo.

Otra forma de optimizar el uso de energía es la elección de cargas más eficientes, por ejemplo, las lámparas incandescentes pueden ser reemplazadas por lámparas LED, que brindan igual iluminación y usan cerca de un cuarto de potencia.

Dimensionamiento, instalación y capacitación de un sistema de electrificación fotovoltaica en la Unidad Educativa de Carmen del Emero

Carmen del Emero es una de las 20 comunidades tacanas que conforman la Tierra Comunitaria de Origen Tacana cuya organización matriz es el Consejo Indígena de Pueblo Tacana (CIPTA). Carmen del Emero se encuentra ubicada en el extremo de la TCO a 12 horas desde el puerto de San Buenaventura en bote con motor fuera de borda sobre el río Beni, en el municipio de Ixiamas.

Los niños en edad escolar de las 40 familias que componen la comunidad asisten a la Unidad Educativa de Carmen del Emero, que cuenta con cursos desde el nivel preescolar hasta el bachillerato, con un total de 87 estudiantes y un plantel docente compuesto de 6 profesores y un director. La unidad educativa no cuenta con energía eléctrica, ni aulas suficientes. El 2004 el gobierno instaló paneles solares para electrificar la escuela, sin embargo no pudieron darles el mantenimiento ni uso adecuado por lo que quedó en desuso.

Con el objetivo de mejorar el conocimiento en la instalación de SFV, mantenimiento de equipos y principios de funcionamiento, se convocó a jóvenes del ciclo secundario para realizar estas actividades y de manera participativa poder dotar de energía a la escuela primaria y biblioteca con el fin de mejorar la calidad de educación y de vida de las niñas y niños que asisten a la escuela.

Dimensionamiento

Las necesidades de dimensionamiento están condicionadas por tres factores importantes: la necesidad de garantizar un suministro constante aún en las peores condiciones ya que no se dispone de otra fuente de energía, la disponibilidad de equipos en el mercado y el elevado costo de los equipos.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado consta de las siguientes fases:

a. Determinar la demanda de energía

Se debe analizar rigurosamente los requisitos energéticos para identificar las oportunidades de hacer más eficiente el sistema. Para lograr maximizar la durabilidad y el funcionamiento del sistema se realizó el análisis de cargas para la iluminación y las cargas eléctricas en la Unidad Educativa de Carmen del Emero.

El módulo de primaria de la escuela consta de dos aulas y una biblioteca. Los tres ambientes cuentan con electricidad fotovoltaica, lámparas fluorescentes y toma corriente en cada aula.

	Luz (W)	Toma corriente (W)	TOTAL
Aula 1	100	500	600
Aula 2	100	0	100
Biblioteca	100	0	100
	300	500	800

Las lámparas fluorescentes T12 son ineficientes en el uso de energía, por lo que se decidió cambiar por focos LED, lo que disminuyó la demanda en un 75%.

b. Definir el tamaño del arreglo fotovoltaico

Para calcular la energía que se consume al día, se asumió que las luces estarían trabajando cinco horas diariamente y se contemplaron cuatro horas pico de sol.

Después de varias consideraciones se dimensionó un arreglo FV de 1050W compuesto por 10 módulos de 75W nuevos y seis módulos de 50W que estaban en buen estado, pertenecientes a la unidad educativa. Debido a la utilización de módulos diferentes, se requirió dividir el equipo en dos circuitos con dos reguladores de carga.

c. Definir el tamaño del banco de baterías

El banco de baterías se definió en base a las cargas y considerando 4 días de autonomía: La capacidad energética de las baterías tiene un total de $(12V \times 100Ah \times 4)$ 4800Wh. La carga total es de 800Wh x 4 días de autonomía = 3200Wh. El exceso se debe a la necesidad de trabajar con 2 o 4 baterías, para que sea compatible con la configuración del equipo.

d. Seleccionar el controlador de carga

Se instalaron dos controladores de carga: Un controlador de carga con rastreador de máxima potencia para el arreglo de los 10 módulos de 75W y un regulador de carga PWM (modulación de amplio pulso) para los seis módulos de 50W. Ambos fueron conectados en paralelo a las baterías para que sean cargadas de forma equivalente.

e. Seleccionar el inversor

Debido a la limitada disponibilidad de inversores, el máximo voltaje para trabajar fue de 24V. El inversor utilizado es de marca Power System de la compañía Bright Sun Power Corporation

f. Cableado

Para simplificar el cableado del sistema, se maximizó el voltaje del sistema para evadir conexiones en paralelo.

Debido a la limitada disponibilidad de inversores, el máximo voltaje para trabajar fue de 24 voltios. Por lo que el banco de batería tuvo que diseñarse a 24 voltios. Adicionalmente las baterías disponibles se encuentran solamente a 12 voltios. Estas restricciones nos dieron solamente una configuración viable para el sistema, que se presenta en la figura 11.

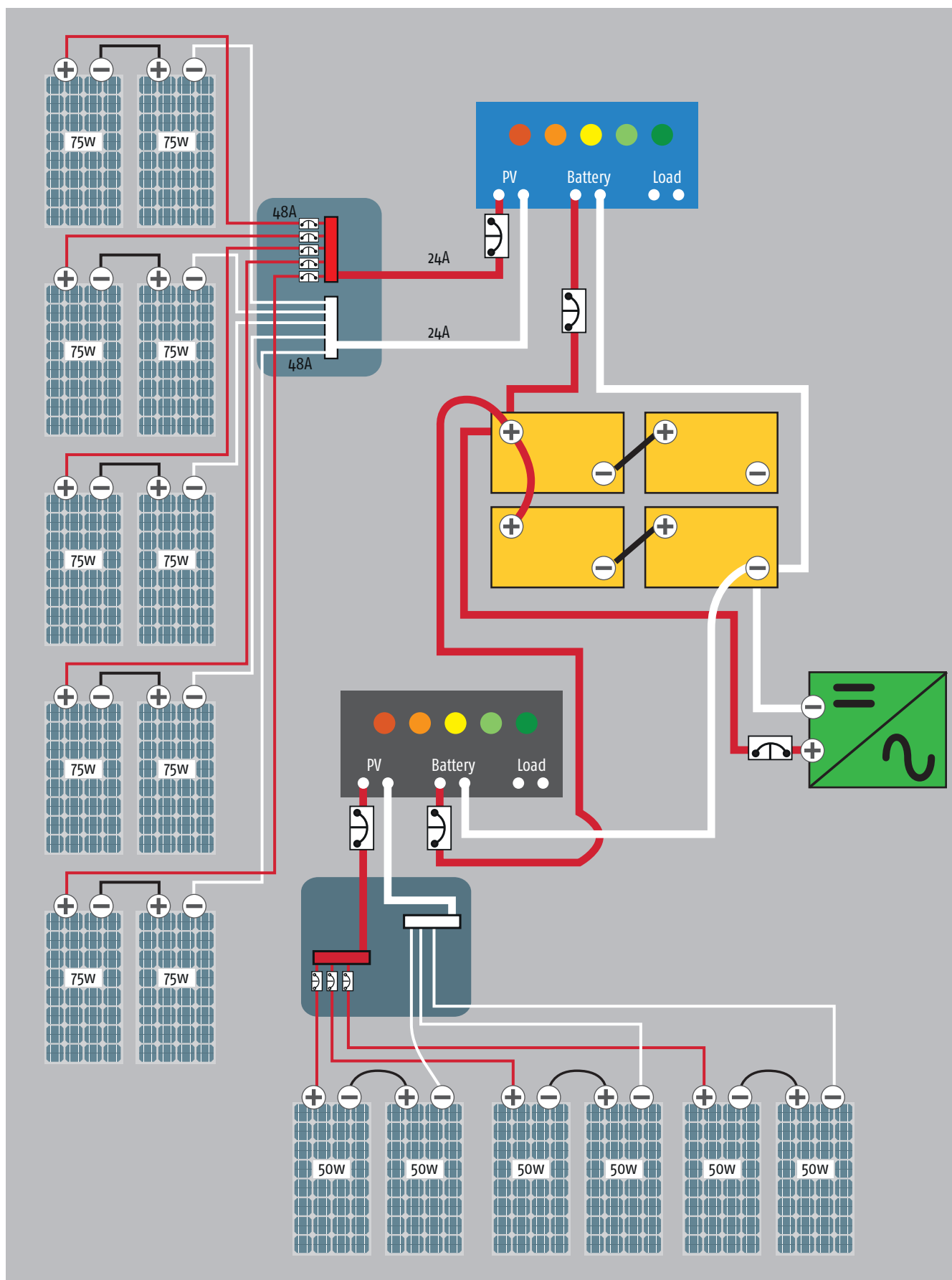


Figura 11. Configuración del sistema fotovoltaico para la Unidad Educativa de Carmen del Emero

En base al dimensionamiento, se adquirieron los equipos y materiales y fueron transportados hasta Carmen del Emero.



Capacitación e instalación

En la instalación y capacitación del SFV participaron: 16 jóvenes alumnos de ciclo secundario (7 mujeres y 9 varones) entre 15 y 18 años y 7 profesores (2 mujeres y 5 varones) entre 26 y 30 años de la Unidad Educativa de Carmen del Emero. Ambas actividades se realizaron en 6 días, entre el 23 y 28 de agosto de 2014.

Durante el primer día se realizó un análisis del sitio donde se determinaron puntos de interconexión, tablero de control, y la ubicación de los dos arreglos fotovoltaicos. Adicionalmente se planificaron las sesiones teóricas y un plan de trabajo en base a cuatro grupos conformados.

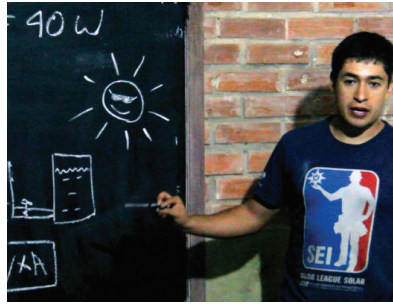
Plan de sesiones teóricas

	Tema	Duración (horas)
1	El sol, la energía, combustibles fósiles y la energía solar	Día 1 (1 hora)
2	Principios básicos de electricidad en los sistemas fotovoltaicos: Potencia, corriente, voltaje y sus unidades. Circuitos eléctricos	Día 1 (2 horas)
3	Tipos de corrientes y conexiones	Día 2 (3 horas)
4	Componentes de los sistemas fotovoltaicos	Día 2 (2 horas)
5	Instalación y mantenimiento de SFV	Día 3 (2 horas)

Grupos de trabajo

	Tema	Número de personas
1	Baterías	5
2	Arreglo fotovoltaico	5
3	Caja de control e instalación eléctrica	4
4	Actividades en el techo	9

Las clases teóricas fueron abordadas tanto en el salón con todos los alumnos, como en cada uno de los grupos.



Grupos 2 y 4. Instalaciones en el techo y arreglo fotovoltaico:

Instalación de los pies de soporte de la estructura del arreglo de 75W y ensamblaje de los montajes de los paneles de 75W.



Montaje del sistema de 10 módulos de 75W en el techo e instalación de las caja de combinación.



Capacitación en el uso del multímetro con los paneles solares para medir el voltaje y ensamblaje del segundo arreglo de paneles de 50W.



Montaje de segundo arreglo de paneles de 50W e instalación de la segunda caja de combinación.



Grupo 1: Banco de baterías

Construcción de la caja de baterías.



Uso del multímetro para comprobar la carga de las baterías e instalación en serie y paralelo.

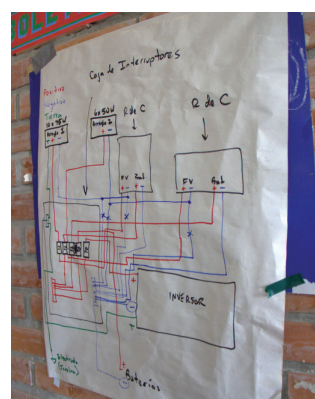


Instalación de las baterías cerca al panel de control y conexión segura de las baterías al panel de control.

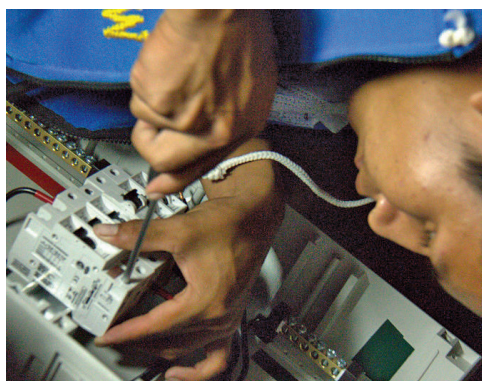


Grupo 3. Panel de control

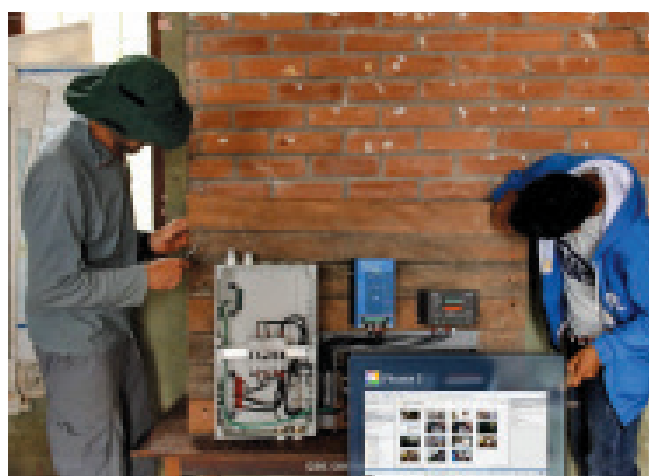
Diagrama de cableado y conexiones e inicio de cableado de los componentes del panel de control.



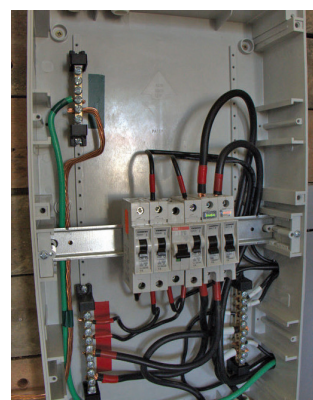
Cableado del panel de control y montaje de controladores e inversores



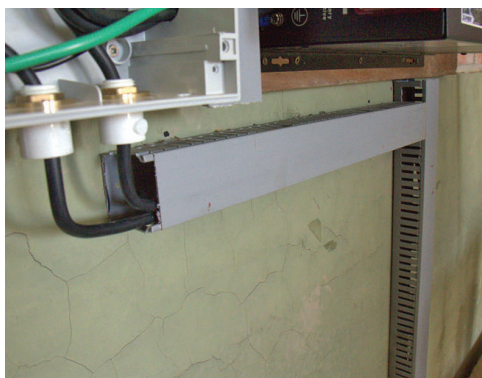
Instalación del panel de control donde los componentes se unen.



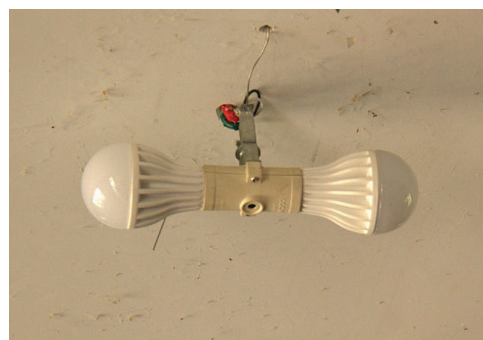
Revisión del cableado y conexiones, montaje del panel de control en la pared de la biblioteca.



Conexión segura de las baterías al panel de control.



Retiro de los balastros e instalación de los focos LED.



Cableado



Conexión a tierra



Encendido del inversor y verificación de funcionamiento desde las baterías. Comprobación de la carga de energía desde los paneles a las baterías y el funcionamiento del regulador de carga. Los arreglos produjeron energía cerca de 1000W.



Capacitación en la secuencia de encendido y apagado del sistema



Finalmente se realizó la entrega de los equipos con la firma del acta de entrega por parte de las autoridades locales, el director de la escuela y el representante del centro de estudiantes. Se les otorgó un certificado por su participación y como reconocimiento de su aprendizaje en la instalación, cálculos energéticos, de voltaje, corriente y la función de cada uno de los componentes del sistema. El funcionamiento y mantenimiento del sistema queda a cargo del centro de estudiantes.



Dimensionamiento, instalación y capacitación de un sistema de bombeo solar de agua para riego en la comunidad de Yolosani

La comunidad de Yolosani está ubicada en el sector Río Coroico en el municipio de Guanay, es una comunidad de origen leco que pertenece a la Tierra Comunitaria de Origen Lecos de Larecaja, cuya organización matriz es el Pueblo Indígena Leco y Comunidades Originarias de Larecaja (PILCOL). En esta comunidad existen productores y productoras de cacao que están afiliados a la Asociación de Productores de Cacao Nativo Ecológico del Pueblo Leco de Larecaja (Chocoleco).

En la comunidad participaron del proyecto 6 productores de cacao, con el objetivo de implementar un sistema piloto de riego por goteo con bomba solar para mejorar las condiciones de crecimiento de plantines de cacao en un cuarto de hectárea, aprovechando al río Yolosani que es afluente del río Coroico.

El terreno se caracteriza como “secarrón”, muy susceptible a secarse entre los meses de abril a octubre, provocando un estrés hídrico sobre todo en los plantines en crecimiento, lo que a su vez repercute en pérdidas para los productores.

Localización de la parcela, fuente de agua para riego y parcela de cacao donde se instalará el sistema de riego.



El objetivo es instalar un sistema de riego piloto capaz de irrigar $\frac{1}{4}$ de hectárea de cultivo de cacao en crecimiento con la participación de los productores para que se interioricen con los principios de funcionamiento, los equipos que componen el sistema y su mantenimiento. Con este sistema se espera asegurar el crecimiento de los plantines, para lo cual se tiene un área testigo sin riego que nos permitirá evaluar el impacto de riego.

SFV y el bombeo de agua

El bombeo de agua tiene varias utilidades: en el riego de cultivos, uso doméstico y para el ganado. El método más simple para suministrar agua es el desvío del agua, ya sea que provenga de la lluvia, de una fuente subterránea o una fuente superficial, por gravedad; sin embargo esto no siempre es posible por las características del terreno. Otro método sencillo son las bombas manuales cuya desventaja radica en que no puede suministrar grandes volúmenes de agua ni extraerla de pozos muy profundos. Las bombas mecánicas alimentadas por maquinarias o motores eléctricos son costosas en su instalación, mantenimiento y requieren de combustible para su funcionamiento.

El bombeo solar de agua constituye una alternativa interesante para la producción agropecuaria y el uso doméstico en zonas alejadas, donde la extracción y transporte de agua son difíciles de realizar por las barreras físicas o el costo implicado. Estos sistemas facilitan la extracción aún en lugares inaccesibles, alejados de las redes de distribución eléctrica. Los paneles solares captan la energía del sol y la convierten en energía eléctrica para alimentar la bomba y los dispositivos necesarios para obtener y distribuir el agua.

Componentes del sistema de riego de bombeo solar

El sistema de riego por bomba solar tiene menos componentes que cualquier otro tipo de sistemas fotovoltaico. Está compuesto por los paneles solares que están conectados al regulador de potencia o amplificador lineal de corriente, no necesita baterías ya que el sistema es directo y solo funciona cuando hay luz solar. La bomba es sumergible y su regulador funciona con corriente continua. El agua bombeada durante el día puede ser almacenada en un tanque a una altura determinada y realizar el riego por gravedad. En la figura 12 se presenta un esquema de un sistema de riego con bomba solar para riego por goteo.



Figura 12. Esquema de instalación de un sistema de riego por goteo con bomba solar

Paneles solares

Captan la radiación solar y la convierten en electricidad, generando corriente continua que alimentará la bomba. El número de paneles está determinado por la

potencia que se necesita administrar a la bomba, el caudal y presión de agua a bombear. Los paneles se conectarán en serie o en paralelo según la intensidad de corriente necesaria para accionar la bomba. Se situarán sobre una estructura a cierta altura para evitar que se proyecten las sombras sobre la superficie de los paneles

Controlador de carga

El controlador de carga es el componente que se encarga de controlar el funcionamiento óptimo de la bomba. Maximiza el rendimiento energético de los paneles solares, lo que permite que la bomba funcione también durante periodos de menor irradiación solar.

Asimismo, regula el funcionamiento de la bomba, desconectándola cuando el depósito o tanque de almacenamiento ha llegado a su máxima capacidad, o bien cuando el nivel de la fuente de agua haya bajado por debajo de un límite de seguridad establecido, evitando que se quede descubierta la boca de aspiración de la bomba.



Bombas de agua solares

Las bombas trabajan sin baterías y están conectadas directamente a los paneles fotovoltaicos a través del controlador o regulador de carga. Son bombas en acero inoxidable para soportar la agresividad de las aguas subterráneas, y disponen de un motor eléctrico de corriente continua (CC/DC), a una tensión nominal que puede abarcar desde bombas que funcionan a 12/24V hasta modelos de bombas diseñadas para ofrecer grandes caudales y presiones con tensiones nominales de entre 300 y 500 voltios.

Toda bomba deberá trabajar cerca de su máximo rendimiento, el cual se alcanza sólo en un estrecho margen de caudal, que será el criterio que se emplee para la selección del tipo de bomba. Esta información aparecerá en las curvas de funcionamiento de la bomba que deberán ser suministradas por el fabricante en sus catálogos técnicos.

Tanque de almacenamiento y sistema de riego

El tanque es el componente hacia donde el agua es bombeada desde la fuente. El agua bombeada durante el día es almacenada para ser utilizada por el sistema de riego. El tanque debe estar a una altura tal que pueda, a través de la gravedad, distribuir el agua por la línea principal y líneas secundarias de riego y proveer de manera constante agua a los puntos de salida de goteo.

Dimensionamiento del sistema

La instalación comprende un SFV capaz de generar electricidad para el funcionamiento de una bomba de irrigación para almacenar agua en un tanque con capacidad de 1500 litros en dos días.

Para maximizar la durabilidad y el funcionamiento de los equipos se estimaron la altura del campo con respecto al río, la distancia del campo y finalmente el tamaño de bomba. Para este caso se utilizó una bomba sumergible 3TTS 0.76-55-24/120 de 120W de potencia que funciona a 24 voltios, con capacidad de elevar 50 m de altura alrededor de 8 litros por minuto en condiciones óptimas.

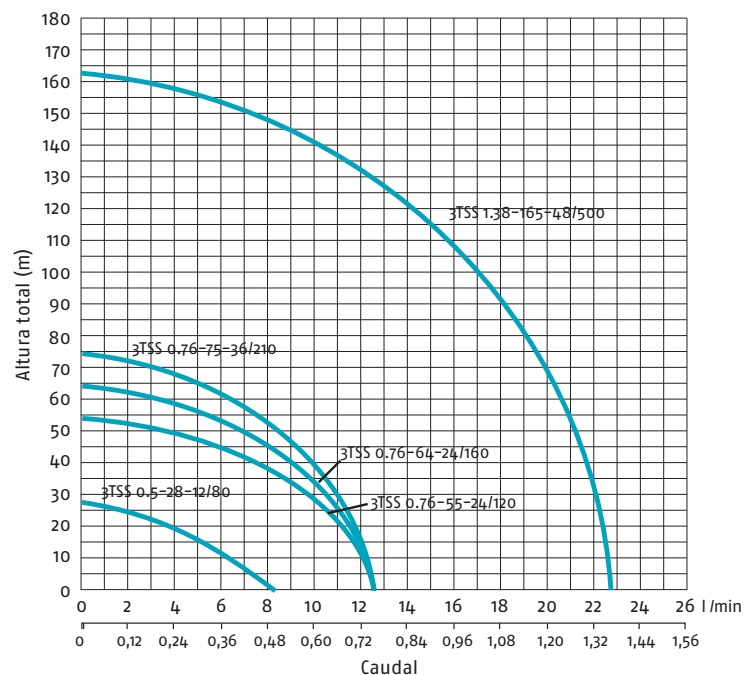
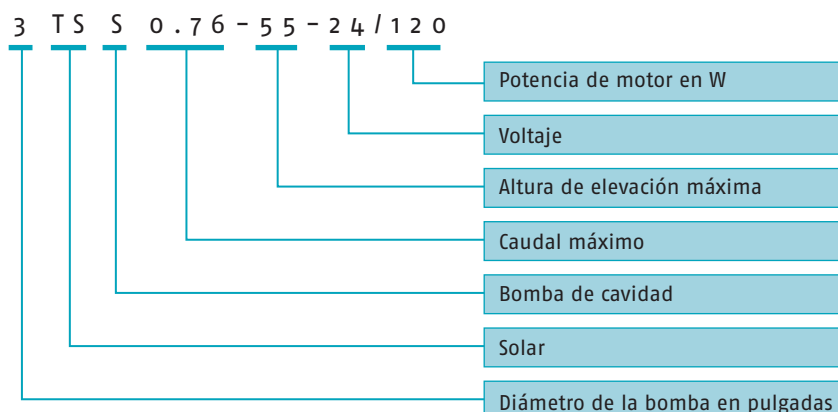


Figura 13: Grafico del funcionamiento de la bomba

La bomba incluye controlador, sensor de nivel y motor en baño de aceite no tóxico, amigable con el medio ambiente con las siguientes especificaciones:



Para que la bomba funcione, se necesita un mínimo de 24 voltios, por lo que se seleccionaron módulos FV de 75W de 12 voltios nominales, los cuales fueron conectados en serie para alcanzar un voltaje de 24V nominales.

El regulador MPA 2000 permite distribuir la corriente y convertirla en una corriente trifásica alterna que alimenta la bomba de agua. También se recomienda un mínimo factor de 1.3 a la potencia especificada de la bomba por lo que la potencia recomendable para la utilización de la bomba es de $1.3 \times 120W = 156W$. Los dos módulos proveen 150W por los 6 watts adicionales no pueden tomarse mucho en cuenta ya que la altura de bombeo es sumamente baja.

Para simplificar el cableado fue necesario maximizar el voltaje del sistema para evitar conexiones en paralelo. Se utilizaron cables de exterior con protección para irradiación solar.

Instalación y capacitación

Una vez adquiridos los equipos necesarios, durante el primer día se llevó a cabo una reunión con los productores de la comunidad de Yolosani para explicarles todo el proceso de instalación, visitar el terreno para realizar un análisis y determinar los puntos de ubicación de la bomba, los paneles solares y el tanque de almacenamiento de agua para riego.



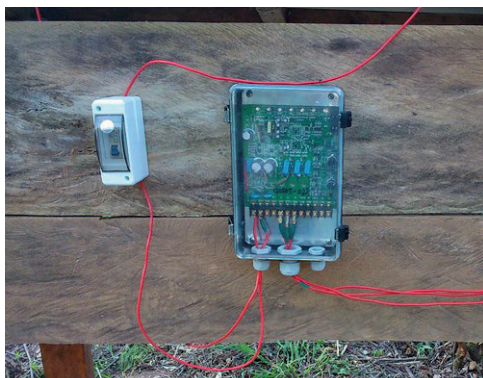
Construcción de dos gaviones a un metro de la superficie utilizando piedras y una malla de alambre. Los gaviones sirven de protección de la casa de la bomba.



Montaje del SFV de los dos módulos conectados en serie con una estructura de madera.

Instalación y conexión del controlador

Diseño de la casa de la bomba, construcción con tubo PVC de 6 pulgadas de diámetros con orificios en la superficie y colocación de la bomba dentro del tubo que fue colocado entre los dos gaviones. La bomba puede ser retirada y guardada, una vez se concluya el bombeo de agua.





Colocación de la tubería de agua desde la bomba al tanque



Construcción de la plataforma del tanque de almacenamiento a 5m de altura e instalación del sistema de riego.

Finalmente se realizó la firma de actas de entrega de los equipos instalados con los miembros de la comunidad.





CAPACITACIÓN e INSTALACIÓN de SISTEMAS FOTOVOLTAICOS en las COMUNIDADES de CARMEN del EMERO y YOLOSANI