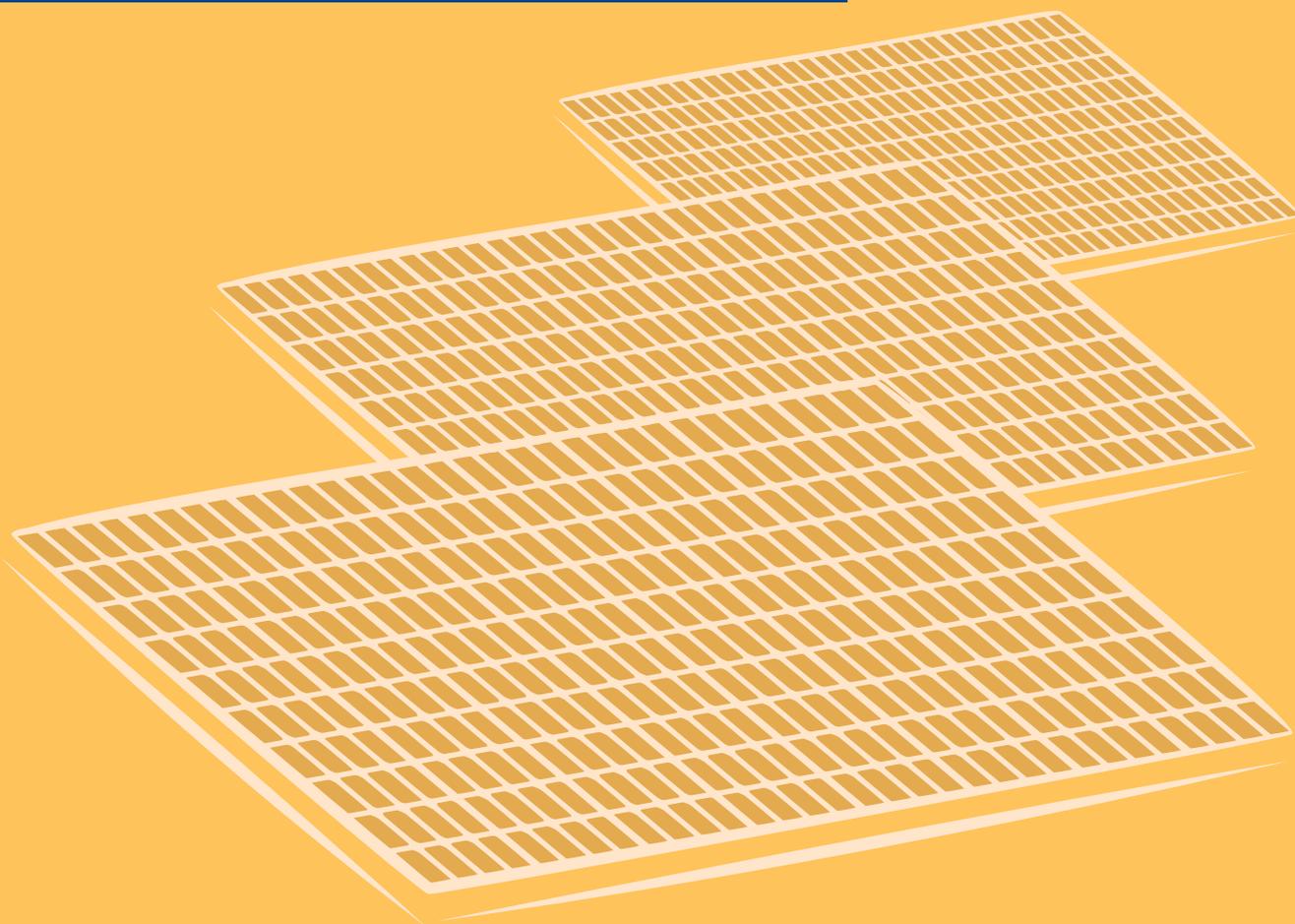


Manuales sobre
energía renovable

SOLAR FOTOVOLTAICA



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



621.47
M2946m

Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica/
Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. - San José,
C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
42 p. il. ; 28x22 cm.

ISBN: 9968-9708-9-1

1. Energía Renovable. 2. Energía Solar. - 3. Recursos
Energéticos- América Central. 4. Desarrollo Sostenible. I. Título.

Hecho el depósito de Ley. Reservados todos los derechos.

©Copyright 2002, BUN-CA, Setiembre del 2002

1ª edición
San José, Costa Rica

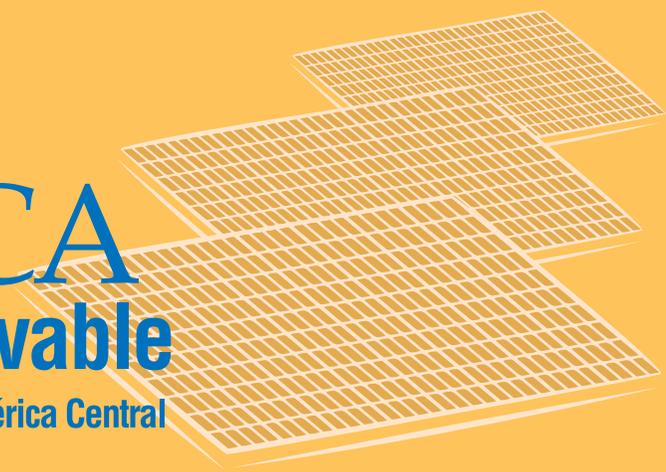
Este Manual puede ser utilizado para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco del Programa Operacional #6 del Área Temática de Cambio Climático del GEF. Las opiniones expresadas en este documento son del autor y no necesariamente reflejan el parecer del Fondo para el Medio Ambiente Mundial o del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

SOLAR FOTOVOLTAICA

Manual sobre energía renovable

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central



Indice

Tabla de simbología	2
1. Introducción	3
2. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	4
3. Funcionamiento de la tecnología fotovoltaica	6
3.1 Módulos fotovoltaicos	6
3.2 Baterías	8
3.3 El regulador o controlador de carga	11
3.4 El inversor	11
3.5 Aplicaciones	12
4. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos	13
4.1 Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas	13
4.2 Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas	14
4.3 Sistemas aislados para usos productivos	15
4.4 Sistemas centralizados aislados de la red	15
4.5 Sistemas centralizados conectados a la red	18
5. Costos y financiamiento	19
5.1 Costos	19
5.2 Financiamiento	21
6. Aspectos ambientales	23
7. Ventajas y desventajas	24
8. Experiencias en América Central	25
8.1 Usos frecuentes de la energía fotovoltaica en América Central	25
8.2 Barreras	27
8.3 Oportunidades	28
Anexos	29
Anexo 1. Publicaciones y sitios web recomendados	30
Anexo 2. Suplidores de equipo y ONG's en América Central	32
Anexo 3. Conceptos básicos de energía	37
Anexo 4. Cálculos para un sistema básico fotovoltaico	43

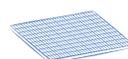
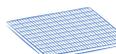


Tabla de Simbología

A	Amperio	kWh	Kilovatio hora
CA	Corriente alterna	kWh/m ²	Kilovatio hora por metro cuadrado
Ah	Amperio-hora	LPG	Gas de petróleo líquido
B/N	Blanco y negro	lts	Litros
Btu	Unidad térmica Británica (1 Btu = 1055.06 J)	M	Mega (10 ⁶)
BUN-CA	Biomass Users Network Centroamérica	m ²	Metro cuadrado
CO	Monóxido de carbono	m ³	Metros cúbicos
CO ₂	Dióxido de carbono	mm	Milímetros
CD	Corriente directa	m/s	Metros por segundo
EPDM	Ethylene Propoylene Diene Monomer	MW	Mega vatios
G	Giga (10 ⁹)	°C	Grados Centígrados
GEF/FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial	ONG	Organización No Gubernamental
Gls	Galones	Psig	Libras de presión por pulgada cuadrada
GTZ	Cooperación alemana para el desarrollo	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Gw	Giga vatio (10 ⁹ vatios)	PV	Fotovoltaico (por sus siglas en inglés)
GWh	Giga vatios hora	PVC	Cloruro de polivinilo
HC _S	Hidrocarburos	T	Tera (10 ¹²)
HR	Humedad relativa	TcE	Toneladas de carbón equivalente
Hz	Hertz	TM	Tonelada métrica
J	Joule (0,239 caloría ó 9,48 x 10 ⁻⁴ , unidades térmicas británicas, Btu)	US\$	Dólares USA
J/s	Joules por segundo	UV	Ultravioleta
K	Kilo (10 ³)	V	Voltios (el monto de “presión”de electricidad)
Km/s	Kilómetros por segundo	W	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)
kW	(1000 vatios) -unidad de potencia-	Wp	Vatios pico
kW/m ²	Kilovatios por metro cuadrado	W/m ²	Vatios por metro cuadrado



1. Introducción

Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles, como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes.

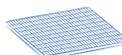
Con el fin de remover la barrera de información existente, se ha elaborado una serie de manuales técnicos con los aspectos básicos de cada una de las tecnologías, como:

- Energía de biomasa.
- Energía eólica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica.
- Energía hidráulica a pequeña escala.

Estas publicaciones han sido elaboradas por la oficina, para Centroamérica, de Biomass Users Network (BUN-CA), en el contexto del proyecto "Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central" (FOCER) y con el apoyo de consultores específicos en cada tema. FOCER es un proyecto ejecutado por BUN-CA, conjuntamente con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el patrocinio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF), dentro del área focal de Cambio Climático (Programa Operacional #6).

FOCER tiene como objetivo remover barreras que enfrenta la energía renovable y fortalecer la capacidad para el desarrollo de proyectos de este tipo a pequeña escala, en América Central, con el fin de reducir las emisiones de gases que generan el efecto invernadero. Este proyecto se ejecuta por medio del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, la organización de seminarios y talleres de capacitación, y la asistencia a gobiernos en la implementación de políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

El presente manual, en torno a la energía solar fotovoltaica, tiene el objetivo de informar al lector sobre esta tecnología en el ámbito centroamericano, así como para darle fuentes adicionales de datos.



2. ¿Qué es la Energía Solar Fotovoltaica?

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

1. La energía solar se puede transformar de dos maneras:

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

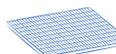
La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

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

3. Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos. En el Capítulo 2, se explica el funcionamiento básico y las características más importantes de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar. Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, América Central es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

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



¿Qué es la Energía Solar Fotovoltaica?

La energía fotovoltaica en América Central

El estado actual de difusión de la tecnología fotovoltaica es muy significativo para el área de América Central debido a los siguientes factores:

- Existen organismos internacionales y regionales que promueven el uso sostenible de las energías renovables;
- Los precios de los equipos fotovoltaicos se han reducido considerablemente en años recientes. Por ejemplo, para un sistema fotovoltaico típico para aplicaciones rurales, los costos en el año 2000 se han reducido en un 29% con respecto del año 1997. La Figura 1 muestra la evolución de los costos promedios de un sistema fotovoltaico doméstico de pequeña capacidad (75 Wp) en El Salvador en los últimos años¹. En los otros países de la región se muestran tendencias semejantes en los precios y se espera que los mismos continúen bajando en los próximos años dada la reducción de los costos de importación y el crecimiento de la demanda;
- Es posible adquirir equipos fotovoltaicos en todos los países de América Central. En el Anexo 2 se encuentra una lista de suplidores de sistemas fotovoltaicos de la región.

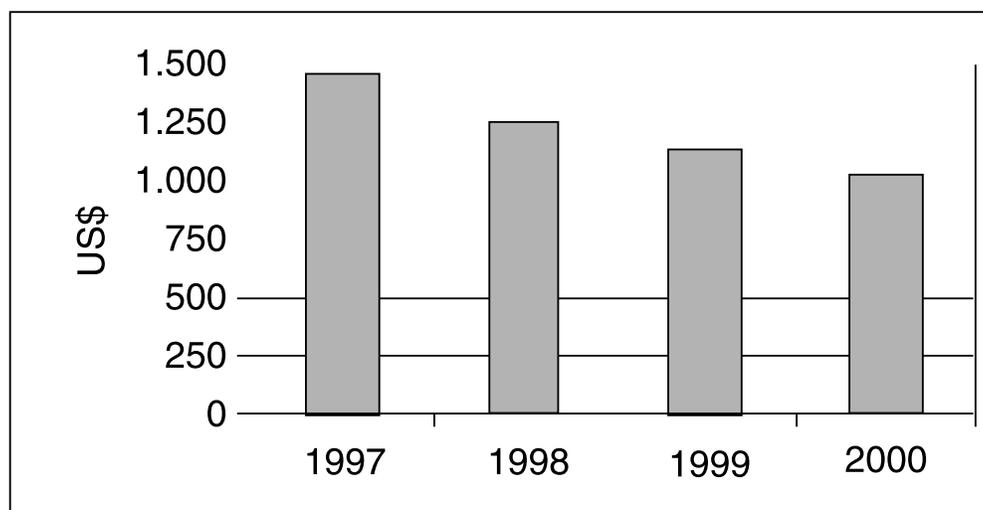
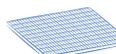


Figura 1. Evolución del precio de un pequeño sistema fotovoltaico (75 Wp) en El Salvador.

¹Fuente: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" de El Salvador (UCA)



3. Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

¿Qué es un sistema fotovoltaico?

Un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

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

- i. El módulo o panel fotovoltaico
- ii. La batería
- iii. El regulador de carga
- iv. El inversor
- v. Las cargas de aplicación (el consumo)

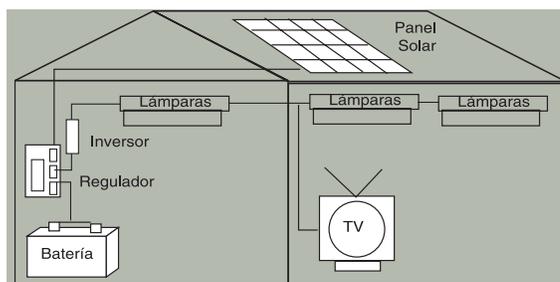


Figura 2. Esquema simple de un sistema fotovoltaico

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

3.1 Módulos fotovoltaicos

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



Figura 3. Módulo fotovoltaico típico.

Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

Celdas fotovoltaicas:

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

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

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

Marco de vidrio y aluminio:

Este tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno).

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



Figura 4. Conjunto de paneles fotovoltaicos típico y su estructura metálica de soporte.

Tipos de módulos fotovoltaicos:

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

Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

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

Potencia:

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

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m^2) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

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

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

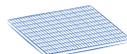
La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido. Los principales suplidores a nivel de país en América Central se incluyen en el Anexo 2.

3.2 Baterías

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

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

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.



Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar tanto lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.

- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuado para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que pueden producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

Características de las baterías

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

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

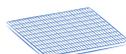


Figura 5. Batería para sistemas fotovoltaicos.

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

- a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente,
- b) los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.



Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

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

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

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

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

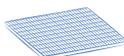
Mantenimiento y vida útil:

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

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

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

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



3.3 El Regulador o Controlador de Carga

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



Figura 6. Típico regulador de carga fotovoltaico con sus respectivos bornes de conexión para el módulo, para la batería y para las cargas.

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

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

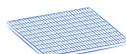
3.4 El Inversor

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

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

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 120 V ó 110 V de corriente alterna para funcionar. Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio pues 120 ó 110 son los voltajes con el que operan el 95% de los electrodomésticos en América Central, en los sistemas conectados a la red pública convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.



Funcionamiento de la Tecnología Fotovoltaica

Existe una amplia variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. Con ellos, se pueden utilizar lámparas, radios, televisores pequeños, teléfonos celulares, computadoras portátiles, y otros.

3.5 Otros elementos en las aplicaciones

Finalmente, un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada. Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores, para usos productivos.

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

a) El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la cantidad de energía diaria producida por el sistema fotovoltaico. Es importante recordar que la disponibilidad diaria de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos es variable pues depende de la radiación solar disponible, del estado de carga de la batería y de la capacidad de los equipos fotovoltaicos instalados, especialmente de la capacidad total de los módulos fotovoltaicos. Por lo tanto, la energía disponible es limitada y hay que utilizar racionalmente los aparatos según ésta. Es recomendable hacer uso, en la medida de lo posible, de aparatos modernos de bajo consumo energético y alta eficiencia. Por ejemplo, se descarta el uso de bombillos incandescentes, planchas eléctricas y hornos eléctricos.

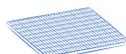
b) La necesidad de utilizar aparatos a 120 V determina la instalación o no de un inversor: Es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor. En la decisión hay que tomar en cuenta que el inversor implica un costo adicional del sistema, y que en el mercado se ofrecen varios aparatos electrodomésticos que funcionan a 12 Voltios, por ejemplo: radios de vehículos, lámparas fluorescentes, etc.

La suma instantánea de las potencias individuales de cada uno de los aparatos por emplear no debe ser mayor que la capacidad máxima en vatios (W) del inversor. Se recomienda utilizar inversores construidos especialmente para aplicaciones fotovoltaicas y sobredimensionar la capacidad de éstos en un 20-30% para prevenir expansiones futuras en la instalación. Por ejemplo, si se tiene un inversor de 300 W de potencia nominal es posible utilizar simultáneamente un máximo de 20 lámparas de 15 W cada una, o emplear simultáneamente un televisor de 75 W más 15 lámparas de 15 W, o cualquier combinación de aparatos cuya suma de potencias instantáneas sea igual o menor que 300 W.

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



Figura 7. Convertidor de corriente directa a corriente alterna.



4. Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar. Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee; sin embargo desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar.

En América Central los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer energía a lámparas, radios, reproductoras de cintas, pequeños televisores, teléfonos celulares, bombas de agua, purificadores de agua, refrigeradores de vacunas y equipos profesionales de radiocomunicación.

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

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

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

4.1. Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas

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

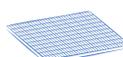
Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

a) El voltaje nominal es 12 V de corriente directa:

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

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

Esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad; debido a que el sistema trabaja a 12 V, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema



Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos

es comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica.

4.2. Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas

Los sistemas individuales CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 V de corriente directa a 120 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas CA son lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radiograbadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), computadoras y bombas de agua.

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

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

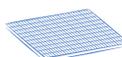
- El sistema puede proveer energía tanto a 120 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa:

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

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

- El costo del sistema es relativamente más alto:

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



Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos

4.3. Sistemas aislados para usos productivos

Además de la aplicación de electrificación de las viviendas rurales, se puede aplicar la energía solar fotovoltaica para usos productivos y comerciales, sobre todo en la agricultura. Ejemplos de este uso son:

- Bombeo de agua para irrigación y cercas eléctricas para ganadería: Este permite aumentar la productividad del área cultivable y diversificar el cultivo.
- Refrigeración de alimentos: Incrementa la calidad del producto y permite mayores márgenes de tiempo entre cosecha y entrega en el mercado.
- Comunicación: Facilita la venta en mercados alejados y el acceso a información de precios en el mercado.
- Iluminación: Permite el procesamiento de cultivos y productos en horas de la noche y en áreas cubiertas.

La capacidad y configuración de un sistema para usos productivos depende de la aplicación. Por ejemplo, los sistemas de bombeo de agua generalmente no requieren de baterías, mientras que aplicaciones que exigen una disponibilidad de energía continua, como la refrigeración, sí la necesitan.

4.4. Sistemas centralizados aislados de la red

Los sistemas fotovoltaicos son una opción válida para la electrificación rural cuando:

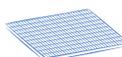
- No existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas.
- Las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor alternativa, sino la única, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema fotovoltaico centralizado debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico. Los suplidores de equipos que se encuentran en el Anexo 2 pueden dar orientación en decidir cuál tipo de sistema es el más apropiado.

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

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual con suministro CA. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual. Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

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



Energía fotovoltaica ilumina comunidad indígena

En la Reserva de Alto Laguna, en el sur de Costa Rica, 19 familias de una comunidad indígena disfrutan de la energía generada con los rayos del sol gracias a un mecanismo que financia la instalación de paneles fotovoltaicos. Desde el inicio del año 2000, los hogares en la Reserva Indígena Guaymí de Osa cuentan con sistemas fotovoltaicos individuales, instalados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), quien cobra una tarifa mensual por el servicio. Estos pagos se financian a través de un "Fondo Comunal de Energía".

Los habitantes de la reserva tienen ingresos irregulares y algunas fuentes estiman que no llegan a los 10.000 colones mensuales por familia (\$27), lo que hacía imposible que cubrieran el costo económico de uso y mantenimiento de los equipos. Mediante la creación del Fondo Comunal de Energía y con aportación de fondos de FOCER, la Asociación de Desarrollo Integral, en representación de las 19 familias, está facultada para cancelar los pagos mensuales al ICE por un plazo determinado.

Para garantizar y respaldar la creación del Fondo de Energía, la comunidad asignó un número fijo de hectáreas a un régimen de productividad forestal supervisada. Los propietarios que acceden al programa someten bosques naturales bien conservados a régimen de protección por un número de años a cambio de la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Esta iniciativa es ejecutada por BUN-CA en coordinación con la Fundación Tierras Unidas Vecinales por el Ambiente (TUVA), una organización costarricense sin fines de lucro, cuya misión consiste en promover modelos participativos de conservación y manejo de recursos naturales en las Zona Sur de Costa Rica, con énfasis en las comunidades indígenas en la Península de Osa.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

a) Mejor calidad en el suministro de energía eléctrica:

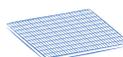
Los sistemas centralizados proveen energía de gran calidad gracias a la utilización de inversores de mayor calidad. Por lo tanto, los usuarios pueden utilizar en sus hogares aparatos eléctricos o electrónicos que requieran un suministro de energía estable y seguro.

b) Mayor robustez del sistema:

Los equipos utilizados en los sistemas centralizados son construidos especialmente para resistir incrementos breves, pero intensos, de demanda de energía eléctrica. Además, la utilización de cargas altamente inductivas (por ejemplo, motores) no representa ningún problema. También, estos sistemas poseen protecciones contra descargas atmosféricas, contra abuso de la capacidad de los sistemas, alarmas contra sobredescarga, protecciones contra cortocircuitos, etc.

c) Menor costo de la energía:

La cualidad más importante de los sistemas fotovoltaicos centralizados, e interesante desde el punto de vista económico, es que permiten obtener energía a un costo más bajo que el de aquella que se obtiene con sistemas individuales. La disminución de los costos de



Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos

producción de energía depende de la cantidad de viviendas y de cuan dispersas se encuentren éstas. Cuanto mayor sea el número de viviendas y menor la distancia entre ellas, menor será el costo de la energía.

d) Menor impacto ambiental:

Otra ventaja de los sistemas centralizados es su bajo impacto ambiental. No existe la posibilidad de la contaminación producida por el abandono de baterías usadas con poca capacidad dado que la energía se acumula en un banco central de baterías de larga vida útil.

e) Distribución centralizada:

La desventaja más importante de los sistemas centralizados es la distribución equitativa de la energía entre la comunidad. La distribución centralizada requiere de la instalación de medidores de energía en cada vivienda. Esto normalmente no se hace debido al considerable incremento de costos que implica. Por lo tanto, siempre existirían problemas ocasionados por algunos usuarios que abusan de la disponibilidad de energía del sistema y de la falta de información que permita cobrar a cada familia, según su consumo energético.

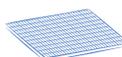
Energía solar mueve sistema de riego

En la Provincia de Chitré, Panamá, la Asociación para el Desarrollo del Micro y Pequeño Productor (ADEMIPP), promueve el uso de la energía solar en la producción agrícola.

Apoyado por BUN-CA (FOCER), esta Asociación desarrolló un proyecto piloto de riego por goteo usando un sistema fotovoltaico. El sistema cuenta con un pozo, un área de cultivo de una hectárea y el equipo fotovoltaico. Este consiste en 4 paneles fotovoltaicos de 120 vatios cada uno, los cuales están montados sobre un rastreador solar que posiciona los paneles en dirección con el sol, y una bomba de agua sumergible. Se realizaron pruebas con diferentes cultivos, como tomate, ají picante y pimentón para determinar la rentabilidad de cada uno en un sistema intensivo de producción. Para la evaluación del funcionamiento del sistema, se formó un grupo de 20 finqueros interesados de la zona, que a través de una serie de sesiones aprendieron sobre las ventajas del sistema.

En esta zona de Chitré, generalmente se aplican sistemas de riego por canales usando generadores operados por diesel que requieren un consumo mayor de agua para irrigación que el sistema propuesto. Además, el proyecto tiene otras ventajas como el aumento de la productividad, la posibilidad de producir todo el año y no sólo 6 meses, así como la disminución de los costos en los insumos energéticos.

Esta iniciativa podría llegar a tener como potenciales usuarios del riego a un grupo de 2.000 productores en la región conocida como el “Arco Seco”, en la Provincia de Azuero. Con la experiencia del proyecto piloto, ADEMIPP está buscando fuentes de financiamiento para su diseminación en la región mediante la instalación de más equipos fotovoltaicos en las fincas agrícolas.



Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos



Figura 8. Sistema fotovoltaico de Capurí, Panamá.

4.5. Sistemas centralizados conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son una alternativa prometedora en el futuro de las energías renovables. En estos sistemas, la energía obtenida no se almacena sino que se provee directamente a la red eléctrica comercial. Esto implica por una parte que el banco de baterías ya no es necesario y, por otra, que se necesita de un equipo especial para adaptar la energía producida por los paneles a la energía de la red. Este tipo de sistemas provee energía eléctrica a núcleos urbanos que ya cuentan con una red de distribución de energía. Las aplicaciones inmediatas son la venta de energía eléctrica o la reducción de la facturación mensual. Esta es una posibilidad muy interesante para inversiones privadas en el sector de energía limpia.

El uso de esta tecnología es reciente, pero existen experiencias interesantes en España y Alemania que permiten suponer un desarrollo rápido de estos sistemas. Parece ser que la tecnología ha alcanzado un nivel de madurez aceptable; sin embargo, aún falta mucho por hacer en cuanto a la legislación que permita la venta de energía fotovoltaica de pequeños usuarios privados a empresas distribuidoras de energía convencional.

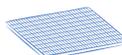
Sistema fotovoltaico contribuye a la salud

En agosto del 2000, la Policlínica de Bilwaskarma, situada en el Municipio de Waspán, Región Autónoma del Atlántico Norte en Nicaragua, completó un proyecto que mejoró el sistema fotovoltaico existente con la colocación de paneles adicionales y nuevas baterías y la rehabilitación del sistema eléctrico, que incrementó la capacidad de generación de energía en un 54%.

Este contribuye a reducir la dependencia de una planta diesel la cual es utilizada para la producción de electricidad. En el pasado, la clínica gastaba en promedio unos 40 galones de diesel mensuales, con un gasto de casi \$100. Con la finalización del proyecto, se logró que la planta de diesel se utilice sólo en casos de emergencia o para aquellos equipos médicos que requieran de 220 voltios.

La clínica atiende a más de 8.000 pacientes por año de 80 comunidades aledañas. Esta clínica es administrada por la Iglesia Morava con el apoyo del Ministerio de Salud. El objetivo general de la clínica es contribuir al mejoramiento de la situación de salud de Bilwaskarma y las comunidades vecinas, dando prioridad a la salud de la mujer y la niñez mediante la promoción, prevención y atención en salud.

El proyecto fue ejecutado por la Iglesia Morava de Nicaragua, que apoya actividades de salud en la zona de Waspán, Región del Atlántico Norte (RAAN) y la empresa TECNOSOL, una empresa nicaragüense suministradora de equipos fotovoltaicos, con el apoyo financiero y técnico de BUN-CA. Durante la instalación, dos técnicos locales fueron capacitados por Tecnosol en el funcionamiento y el mantenimiento del sistema. Además, Tecnosol preparó un manual detallado para la operación y el mantenimiento.



5. Costos y Financiamiento

5.1. Costos

La inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores, por ejemplo: los precios internacionales del mercado fotovoltaico, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, la ubicación y demanda energética de los usuarios. Las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), la distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema (en cantidad de kilómetros por recorrer en vehículo todo terreno, en vehículo normal, en bestia o caminando), y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos (generalmente entre el 10-30%), son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que el usuario final invertirá para electrificar su vivienda.

El costo inicial total de un sistema fotovoltaico individual típico en América Central, tal y como se explicó en el Capítulo 2, para aplicaciones domésticas se estima entre US\$ 800 y US\$ 1.000, el cual incluye los equipos, el transporte y la instalación². De esta cantidad, los montos de mayor relevancia son un 30% correspondiente al módulo fotovoltaico, y un 15% a la batería, al inversor, al transporte y a la mano de obra respectivamente, tal y como se muestra gráficamente en la Figura 9. Sin embargo, la experiencia dice que para viviendas rurales muy alejadas y con vías de acceso deficientes, el costo de transporte suele ascender del 15 al 30% del costo inicial.

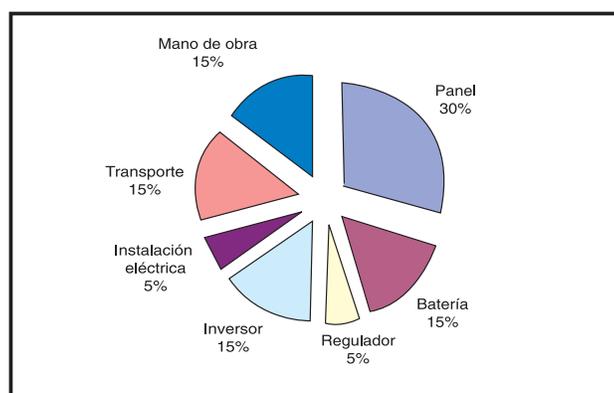


Figura 9. Distribución de costos de componentes de un sistema individual doméstico.

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

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

Los **costos de inversión** son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70-75% del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema fotovoltaico completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad, se estima entre 15 y 20 años³.

²La calidad y capacidad de los equipos fotovoltaicos y las condiciones de acceso al lugar donde se instalará el sistema pueden ocasionar un aumento o disminución significativo del costo inicial indicado.

³La vida útil del sistema está determinada por el tiempo que tarda el módulo fotovoltaico en perder el 10% de su capacidad de producción de potencia. Nótese que en este período, se deberá reemplazar la batería 3-4 veces, según las condiciones de trabajo.

Los **costos de mantenimiento** y operación son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema fotovoltaico. Normalmente, el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente de los paneles fotovoltaicos, y el reemplazo oportuno del agua de las baterías; por lo tanto, los costos de mantenimiento son muy bajos y representan un 3-5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

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

Estos costos totales se muestran en la Figura 10.

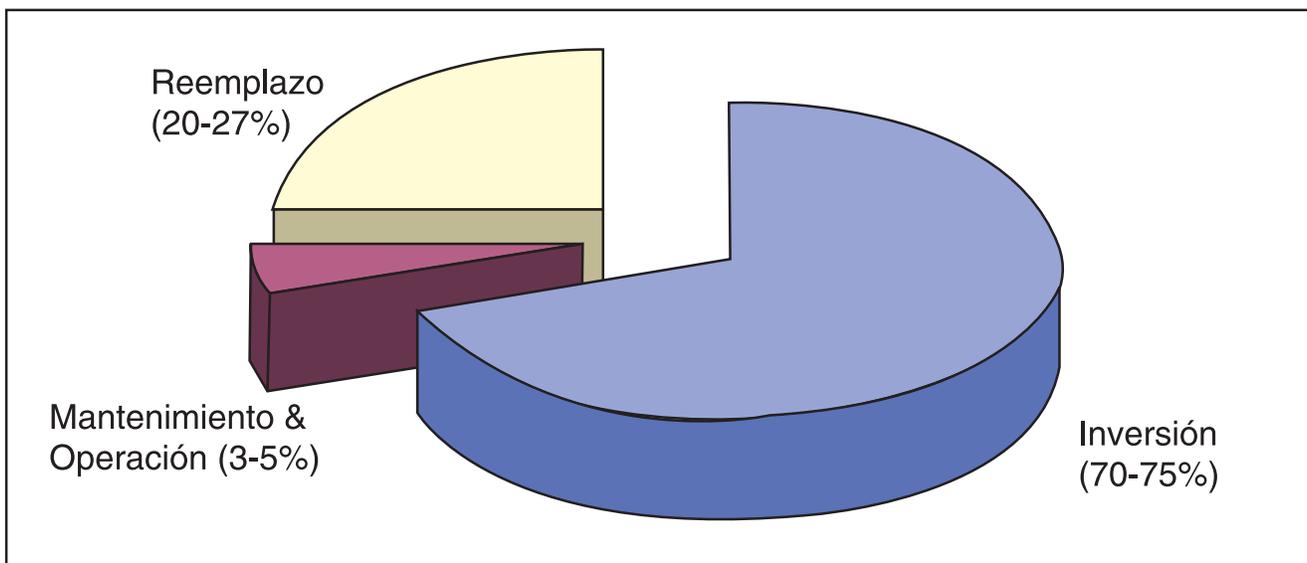


Figura 10. Distribución de costos de un sistema fotovoltaico.

A continuación se presenta información técnica relativa a los sistemas fotovoltaicos más utilizados.

Tipo de sistema	Capacidad	Rango de costos** (US\$)	Usos típicos
Individual CD	50-100 W	600- 2.000	- iluminación interna - radio - televisor b/n
Individual CA	75-500 W	1.030-5.000	- iluminación interna y externa - equipos de sonido - equipos de video - bombas de agua - teléfonos celulares
Centralizados aislados	0,3-10 kW	3.560-50.000	- iluminación interna y externa - equipos de sonido - equipos de video - bombas de agua - teléfonos celulares - máquinas y herramientas - equipos de refrigeración
Centralizados aislados a red	10 kW - 1 MW	75.000 - 750.000	- venta de energía a la red comercial

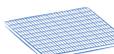
** Nota: Montos estimados

5.2. Financiamiento

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, como por ejemplo una planta de diesel, el costo inicial de un sistema fotovoltaico es relativamente alto pero el costo de operación y mantenimiento es muy bajo. Esto hace frecuentemente que un sistema fotovoltaico sea la opción más barata aunque el costo inicial constituya una barrera para que muchos usuarios potenciales, sobre todo en zonas rurales, no los puedan adquirir. Por esta razón se buscan mecanismos de financiamiento que permitan una mayor aplicación de estos sistemas, i.e.:

Crédito del proveedor

Algunos proveedores de equipos fotovoltaicos brindan crédito a sus clientes para la compra de un sistema. En este esquema, generalmente el cliente paga un 30% al contado, con el fin de cobrar el costo de instalación de forma inmediata, y el resto en 4 ó 5 pagos periódicos, en plazos no mayores a un año. Este crédito requiere que el proveedor cuente con varios años de experiencia para conocer el mercado, así como un flujo considerable de ventas para tener suficiente capital de trabajo.



Experiencia de crédito

La empresa Tecnosolar S.A. de El Salvador tiene experiencia con el otorgamiento de crédito a sus clientes. En varias comunidades, en el Departamento de La Libertad, se han instalado sistemas bajo esta modalidad, en la cual el cliente paga 30% al contado y el resto pactado a cuotas mensuales que oscilan entre 1 y 4 años. El capital de trabajo requerido se consiguió a través de un préstamo con una empresa de servicios de financiamiento en energía sostenible. Al inicio del proyecto piloto, se realizó un estudio socio-económico para conocer la capacidad de pago y establecer la cuota mensual.

La experiencia ha mostrado que los clientes pagan las cuotas en forma responsable, sin embargo estas comunidades fueron afectadas fuertemente por los terremotos de inicio del 2001, por lo que ha habido atrasos en los pagos, pero a pesar de esto, la empresa considera la experiencia como muy positiva.

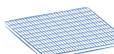
Con el fin de ampliar esta experiencia, BUN-CA (FOCER) apoyó la realización de un estudio de factibilidad para electrificación rural con sistemas fotovoltaicos en El Salvador, ejecutado por Tecnosolar en coordinación con la Confederación Nacional Campesina (CNC). El estudio investigó el mercado para los sistemas fotovoltaicos, la capacidad de pago de los potenciales clientes y las fuentes disponibles de financiamiento nacional.

Alquiler de equipo

Otro esquema para superar la barrera del alto costo inicial es que el usuario pague una cuota mensual por el consumo de electricidad a la empresa que instala el sistema y en cuyo caso el usuario no es el dueño del equipo sino la empresa que brinda el servicio. Esto significa que en vez de suministrar equipo, se suministra el servicio de energía eléctrica. Ya hay varias experiencias con este sistema de pagos en América Central, por ejemplo en Honduras, Guatemala y Costa Rica.

La decisión de desarrollar un negocio para suministrar servicios en vez de equipo, depende principalmente de las características del mercado, como por ejemplo preferencias de los clientes, capacidad de pago y capacidad de operar o administrar los equipos. También depende de factores como el marco legal del país y los intereses del desarrollador.

Hay que considerar que la venta del servicio eléctrico implica un mayor nivel de involucramiento, interrelación y seguimiento con los clientes; una mayor capacidad técnica y gerencial y compromiso financiero de parte de la empresa promotora. Por otro lado un mayor número de viviendas y comunidades pueden estar interesadas en un sistema como éstos. El esquema es muy aplicable para aquellas zonas que en unos años contarán con conexión a la red eléctrica. Esta modalidad requiere de la posibilidad de capital inicial porque hay que comprar los equipos y las ganancias no son inmediatas, pero el riesgo de no pago es menor que en el esquema de crédito, ya que un alquiler no pagado puede compensarse mediante la transferencia del equipo a otro cliente.



6. Aspectos Ambientales

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

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

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

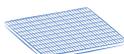
Las plantas eléctricas producen ruido cuando operan. Inicialmente esta contaminación sonora suele ser tolerada por el entusiasmo de disponer de energía eléctrica; sin embargo, pronto ésta se hace intolerable, especialmente para las personas de la tercera edad, enfermos y maestros de escuela. Los sistemas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

Las plantas eléctricas producen humo cuando operan. Si la planta no ha recibido el mantenimiento adecuado, la cantidad de humo producido es considerable y dañina para las personas próximas a ésta. Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas. La producción de hidrógeno no es un problema si las baterías se encuentran en una habitación ventilada; en caso contrario, se puede producir una explosión debido a la concentración alta de este gas.

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

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

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser instalados correctamente para evitar su fallo prematuro, de lo contrario ocasionará el abandono de los equipos y su posible deterioro. No tiene sentido invertir en equipo de alta tecnología si éste no será utilizado durante muchos años.
- Debe existir un programa eficaz de retiro y reciclaje de baterías: las baterías fotovoltaicas abandonadas a la intemperie después de cumplir su vida útil ocasionarán contaminación, por lo que es necesario elaborar un programa para el desecho de las baterías.
- Las baterías deben estar instaladas en una habitación especialmente destinada a este propósito: sistemas fotovoltaicos con baterías instaladas en habitaciones utilizadas por personas podrían ocasionar riesgos a la salud y a la seguridad de las personas si no están instaladas en forma segura.



7. Ventajas y Desventajas

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado su capacidad para proveer energía eléctrica a sitios aislados de la red convencional. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica no es siempre la solución más adecuada a todos los problemas de electrificación rural de nuestros países. Dependiendo del caso en particular, la extensión de la red convencional, el empleo de aerogeneradores o el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, pueden ser alternativas válidas. Como regla general, antes de comprar cualquier equipo se debe evaluar detenidamente si éste es la mejor opción o no a un caso particular. Incluso, aún cuando ya se haya decidido utilizar la opción fotovoltaica, el tipo de sistemas que se instalará (CD, CA o Centralizado) es una decisión muy importante que se debe tomar a partir de las necesidades energéticas actuales y futuras y de la disponibilidad económica.

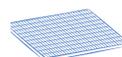
A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que los sistemas fotovoltaicos presentan en la región.

Ventajas:

- El área de América Central dispone de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.
- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.
- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestros países.
- En los siete países de América Central ya existen distribuidores de equipos fotovoltaicos que ofrecen sus productos y la instalación de los mismos.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.

Desventajas:

- La inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago de una gran mayoría de las familias rurales.
- La cantidad de energía producida es limitada y alcanza solamente para las necesidades básicas de electricidad.
- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.



8. Experiencias en América Central

En América Central, el uso de los sistemas fotovoltaicos se ha desarrollado en forma relativamente lenta. A pesar de disponer tanto de condiciones climatológicas apropiadas como de aproximadamente 3.5 millones de hogares sin conexión a la red eléctrica convencional, el uso generalizado de sistemas fotovoltaicos no se ha materializado. En la década de los 70 ya se tenía conocimiento, especialmente en las universidades, de la existencia de la tecnología fotovoltaica. En la década de los 80 se comenzó a utilizar, principalmente con fines experimentales para aplicaciones rurales. Los resultados de esta fase no fueron muy exitosos debido, principalmente, al desconocimiento que existía en esa época de las capacidades y limitaciones de los paneles fotovoltaicos. La utilización de esta nueva tecnología estuvo marcada fuertemente por el interés de investigadores y unos pocos inversionistas visionarios. En la década de los 90, se empezó a utilizar seriamente la tecnología fotovoltaica para resolver problemas de electrificación rural. En estos años, el mercado fotovoltaico centroamericano era aún muy pequeño y muchas de las empresas privadas que intentaron abrirse paso, fracasaron.

El nuevo siglo ofrece a esta tecnología nuevas oportunidades y esperanzas. El interés por utilizar la energía del sol ha crecido. En América Central ya existen miles de familias que disponen de un sistema fotovoltaico doméstico para satisfacer sus necesidades básicas de electrificación. Aunque el mercado fotovoltaico todavía es pequeño, ya existen más empresas dedicadas exclusivamente a la venta e instalación de estos sistemas.

Hasta la fecha, los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer electricidad a familias en las áreas rurales aisladas de la red eléctrica comercial. En cada país existen numerosas experiencias al respecto, pero no se ha evaluado sistemáticamente el impacto de la tecnología fotovoltaica en toda la región ni se disponen de datos confiables que permitan establecer el grado de electrificación fotovoltaica de cada uno de los países. Por eso, en este manual se presentan solamente algunos ejemplos relevantes de aplicaciones fotovoltaicas frecuentes en la región:

8.1. Usos frecuentes de la energía fotovoltaica en América Central

a) Iluminación de edificios públicos: La Figura 11 muestra la electrificación fotovoltaica de una escuela rural. Esta es una aplicación de la energía solar para proveer a muchos niños y niñas de recursos audiovisuales necesarios para su formación escolar. El uso de programas de aprendizaje a distancia a través de un televisor y el uso de equipos de sonido para desarrollar las habilidades artísticas de los niños y niñas, son dos de los beneficios directos más evidentes de esta aplicación. También existen beneficios para los adultos; por ejemplo, programas de alfabetización nocturna, reuniones comunitarias nocturnas, puestos de salud, puestos de emergencia, puestos policiales, etc. Una ventaja importante de este tipo de aplicación es que la cantidad de beneficiarios es grande y los costos de este tipo de sistemas no son considerablemente mayores que los costos de un sistema individual para aplicaciones domésticas.



Figura 11. Escuela pública con iluminación solar en la Península de Osa - Costa Rica.

b) Iluminación pública: Generalmente se asocia a los sistemas fotovoltaicos con la iluminación eléctrica para los interiores de las viviendas rurales, sin embargo, la iluminación de canchas de fútbol, espacios libres comunitarios, caminos, parques, calles y otros sitios públicos es otra aplicación extremadamente útil de los sistemas fotovoltaicos. El beneficio de la iluminación es mayor cuando el número de usuarios es grande. Además, los sistemas fotovoltaicos de iluminación pública pueden proveer suficiente energía para el entretenimiento de la comunidad a través de la utilización de televisores o equipos de sonido. Una ventaja importante de la iluminación fotovoltaica pública es que el costo de una luminaria fotovoltaica autónoma no es significativamente mayor que el costo de un sistema fotovoltaico doméstico; mientras que el número de usuarios y el número de beneficios del sistema fotovoltaico de iluminación pública es muchos más grande que en el caso del sistema doméstico de iluminación. Ver Figura 11a.

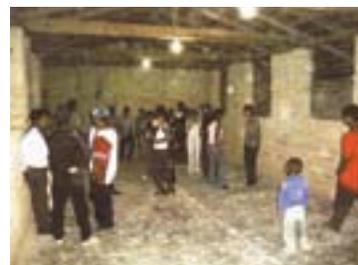


Figura 11a. Centro comunal con iluminación fotovoltaica, Jinotega, Nicaragua.

c) Iluminación doméstica: La electrificación fotovoltaica de viviendas rurales es la aplicación más necesaria y frecuente. Miles de sistemas individuales CD y CA se han instalado para proveer de luz y esparcimiento a las familias.

d) Electrificación comunal: Existen ya algunas experiencias con sistemas comunales interconectados en la región. En Honduras, hay experiencia en la utilización de sistemas centralizados para la iluminación pública, de escuelas y de centros de salud (aldeas solares), también en la utilización de computadoras para proveer de acceso a Internet a estudiantes de las escuelas rurales.

Ejemplos de sistemas centralizados

En El Salvador, existe una comunidad que dispone de dos sistemas centralizados para el suministro de energía eléctrica. La capacidad total instalada es de 1.680 Wp. El sistema satisface las necesidades de iluminación (2 lámparas fluorescentes de alta eficiencia de 11 W a 120 V) y esparcimiento (1 TV B/N de 18 W a 120 V y 1 radio de 12 W) de 35 familias. No existen medidores de energía, cada familia aporta un pago de US\$ 1,20 mensualmente si hace uso de lámparas, un radio y un televisor; US\$ 0,60 si no hace uso de un televisor.

Desde 1995, la comunidad de El Capurí, en Panamá tiene un sistema fotovoltaico centralizado, financiado por la Universidad de Panamá y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). La comunidad está constituida por 30 viviendas y se encuentra a 6 kilómetros de distancia de la línea eléctrica más cercana, por lo que el sistema fotovoltaico fue la solución más factible para llevar la electricidad a sus habitantes. El sistema está constituido por 96 módulos fotovoltaicos de 75 W, 48 baterías de 2 voltios, estructuras de soporte, equipos de control y un sistema de tendido eléctrico para la distribución de la energía a las casas. Además de la electricidad, el sistema facilita un teléfono público en el centro comunal.

e) Telefonía: Otra utilización que se puede llevar a cabo con sistemas fotovoltaicos es la telefonía tipo celular. Este uso es muy dado en zonas rurales muy alejadas donde los sistemas de comunicación no se llevarán en un mediano plazo, por lo que por medio de un teléfono celular, conectado a un sistema fotovoltaico, permite a la comunidad contar con comunicación telefónica.

8.2. Barreras

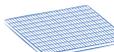
A pesar de las buenas características y oportunidades, existen varias barreras que impiden la mayor aplicación de sistemas fotovoltaicos en América Central. A continuación se mencionan las más importantes:

- Falta de coordinación regional y local de esfuerzos: En todos los países centroamericanos surgen iniciativas y proyectos cuyo éxito podría garantizarse si se conocieran las experiencias y los resultados de iniciativas y proyectos similares ya desarrollados por otros en la misma área centroamericana. En buena medida, en todos los países se afronta el mismo tipo de problemas y se formulan el mismo tipo de proyectos; sin embargo, casi siempre, se comienza desde el principio, pues la información ya existente no se analiza ni comparte con el resto de colegas interesados en el tema.

- Falta de programas de financiamiento para la realización de proyectos de electrificación fotovoltaica de gran cobertura: Muchos de los proyectos que se realizan se originan de iniciativas privadas o de donaciones extranjeras y, generalmente, no tienen un impacto significativo debido a que tienen una cobertura energética muy reducida. En los sistemas financieros convencionales, existen los créditos para adquirir una casa, un automóvil, electrodomésticos, vacaciones, etc. y son relativamente fáciles de obtener; sin embargo, el crédito para la adquisición de un sistema fotovoltaico no está disponible en todos los países de la región para la mayoría de los usuarios que realmente necesitan de esa ayuda para resolver sus problemas de electrificación doméstica. Está claro que la inversión inicial que requiere la instalación de un sistema fotovoltaico no la puede pagar la mayoría de las familias rurales; sin embargo, si existe en ellas capacidad de pago a créditos a largo plazo con tasas normales de interés. En el fondo, no se trata de un problema de falta de capacidad de pago, sino de una ausencia de programas adecuados de financiamiento a largo plazo destinado a un grupo de usuarios de bajo ingreso.

- Falta personal capacitado: la cantidad de personas con la capacidad de diseñar e instalar sistemas fotovoltaicos es todavía limitado en la región de América Central, especialmente en las zonas rurales.

- Falta de competencia sana entre proveedores de equipos y tendencia a vender e instalar equipos de mala calidad: El deseo de reducir los precios y de vender más, ha llevado a algunas empresas privadas (soplidoras) tanto a vender equipos de baja calidad como a utilizar mano de obra no calificada para la instalación. Este tipo de prácticas pone en peligro la implementación exitosa de esta tecnología y crea falsas expectativas con respecto de la confiabilidad y duración de los sistemas fotovoltaicos.



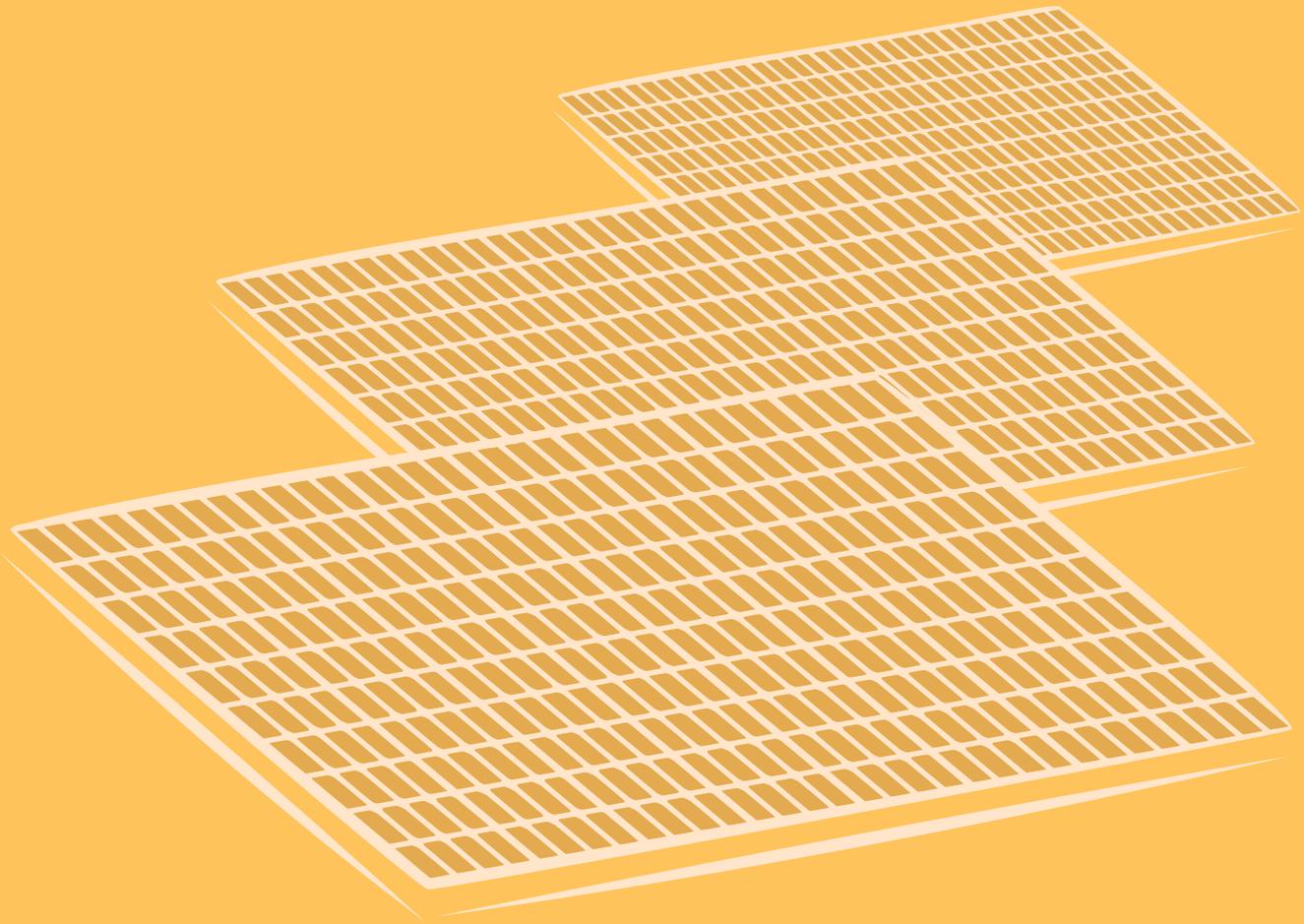
8.3. Oportunidades

A pesar de las barreras, el futuro de las energías renovables en América Central tiene interesantes posibilidades de desarrollo. Se mencionan las oportunidades más relevantes:

- Existe mayor conciencia en la búsqueda de soluciones apropiadas a los problemas energéticos de la región.
- Se prevee una tendencia a mejorar el trabajo de coordinación, promoción y desarrollo de las energías renovables por parte de organismos locales y regionales.
- Existen ONG's interesadas en la formación técnica para instaladores fotovoltaicos y en capacitaciones relacionadas con aspectos socio-económicos de las energías renovables.
- Existen en todos los países empresas privadas dedicadas a la venta e instalación de equipos fotovoltaicos básicos.
- Las principales universidades centroamericanas disponen de investigadores dedicados al desarrollo de proyectos de electrificación utilizando esta tecnología.



Sistema fotovoltaico instalado en una clínica de salud en la Zona Norte de Nicaragua



ANEXOS

Anexo 1. Publicaciones y Sitios Web Recomendados

Publicaciones Recomendadas

Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Alcor. E., Segunda Edición 1995. PROGENSA. ISBN 84-86505-54-2. España.

Energía Solar Fotovoltaica. Ingeniería sin Fronteras. Colección Cooperación y Tecnología. ISBN 84-89743-08-8. España.

FAO (2000), Energía Solar Fotovoltaica. Van Campen, B., FAO. Roma 2000.

FAO (1999), El impacto de sistemas solares fotovoltaicos en el desarrollo rural, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. Disponible en <http://www.fao.org/sd/spdirect/EGre0052.htm>

FAO (2000), Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. Disponible en <http://www.fao.org/sd/spdirect/EGre0057.htm>

Alternativas eficientes para la electrificación rural. Villalta. C., Revista Estudios Centroamericanos (ECA). # 629. Marzo 2001. ISBN 0014-1445

FENERCA (2001a), Modelos empresariales para servicios energéticos aislados, publicación del programa Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica (FENERCA), E+CO, BUN-CA, PA Government Services, San José, Costa Rica.

Progensa (1999), Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla (España).

Progensa (2001), Energía Solar Fotovoltaica, Monografías Técnicas de Energía Renovables No. 7, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla (España).

Sitios Web Recomendados

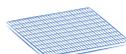
1. Información Educativa

<http://www.censolar.es/CENSOLAR> (Centro de Estudios de la Energía Solar). Dedicado a la formación técnica en energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, mediante la enseñanza en presencia y a distancia. Propone: cursos profesionales, bibliografía y software, noticias, interesante directorio internacional de publicaciones, instituciones y otros centros.

<http://solstice.crest.org/renewables/re-kiosk/solar/pv/index.shtml>. Información básica sobre aplicaciones, tecnologías y aspectos económicos de la energía fotovoltaica.

<http://witss.gdl.iteso.mx/solar>. Curso en línea de energía solar, tanto solar térmico como fotovoltaico, del Grupo Solar del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, México.

<http://www.dianet.com.ar/dianet/users/Solis/Informe2.htm#Energía Solar>. Información sobre el funcionamiento de la energía solar, además con información de otras fuentes de energía.



Publicaciones y Sitios Web Recomendados

<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/orosolar.htm> “El oro solar y otras fuentes de energía”, información sobre diferentes fuentes de energía, incluyendo la energía solar.

<http://www.gtz.de/pvp/deutsch/s04.asp>. Varias publicaciones sobre bombeo y riego con sistemas fotovoltaicos, en el sitio Web de la Agencia Alemana de la Cooperación Internacional (GTZ)

<http://www.solaraccess.com>. SolarAccess.com, organización que promueve a la energía renovable a través de Internet. Este sitio presenta información de las tecnologías de energía renovable, con un enfoque a la energía solar. Incluye, entre otros, cursos en línea sobre el diseño de sistemas fotovoltaicos (en inglés)

<http://www.solarenergy.org/>. Solar Energy International, organización sin fines de lucro con la misión de promover la educación y asesoría técnica en energía renovable. Organiza cursos en las diferentes tecnologías de la energía renovable, incluyendo cursos en línea (en inglés).

2. Fabricantes

<http://www.siemenssolar.com>. Siemens Solar, fabricante de celdas y módulos solares.

<http://www.isofoton.es>. Isofotón, fabricante de módulos solares, reguladores e inversores para sistemas solares.

<http://www.bpsolarex.com>. BP Solar, fabricante de módulos solares, reguladores e inversores para sistemas solares.

<http://www.kyocera.com>. Kyocera, fabricante de módulos solares.

<http://www.photowatt.com/espagnol/espagnol.asp>. Photowatt, fabricante de módulos solares.

<http://www.morningstarcorp.com>. Morningstar Corporation, fabricante de reguladores de carga para sistemas fotovoltaicos.

<http://www.atersa.com>. Atersa, fabricante de varios componentes de sistemas fotovoltaicos como paneles, baterías, reguladores e inversores.

3. General

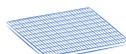
<http://www.ises.org/>. International Solar Energy Society.

<http://energy.sourceguides.com/businesses/byP/solar/solar.shtml>. Contiene directorio de negocios solares en el mundo.

<http://www.pvpower.com/>. PV Power Resource Site, recursos informativos de la energía fotovoltaica.

<http://www.bun-ca.org>. Biomass Users Network – Oficina Regional para Centro América (BUN-CA), ONG regional con la misión de contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad productiva de América Central, en energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

<http://www.energyhouse.com>. E+Co, corporación sin fines de lucro, de inversiones en energía renovable y eficiencia energética.



Anexo 2. Consultores y suplidores de equipos

Identificados por BUN-CA a Setiembre 2002

(Espacio para anotar nuevas referencias)

BELICE:

Robert Nicolait & Assocs.
49-A Ave. Street
P.O. Box 785
Belice City
Tel.: (501) 6-23149
Fax: (501) 6-23290

Kelosha Corporation
P.O. Box 165
Dangriga
Tel.: (501) 5-12050
E-mail: mamananoots@btl.net

GUATEMALA:

LUEX
3ª. Av. 13-33 Zona 1
Ciudad de Guatemala
Tel.: (502) 232-2603
Fax: (502) 232-8518
luex@infovia.comgt

SIEMENS

2ª. Calle 6-76 Zona 10
Ciudad de Guatemala
Tel.: (502) 331-7478
Fax: (502) 334-3669

FUNDACIÓN SOLAR

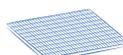
15 Av. 18-78 Zona 13
01013 Ciudad de Guatemala
Tel.: (502) 360- 1172
Fax: (502) 332-2548
E-mail: funsolar@guate.net

DINTERSA

5ª Avenida 1-71, Zona 9, Local 4
CP 01009 Ciudad de Guatemala
Tel.: (502) 332-3807, 332-3918
Fax: (502) 332-3918
E-mail: dintersa@microq.com.gt

EL SALVADOR:

Tecnosolar
Colonia Centroamérica, Calle San Salvador 417,
San Salvador.
Tel./fax: (503) 260-2448, 261-1184
E-mail: tecnosolar@navegante.com.sv



Consultores y suplidores de equipos

SIEMENS

Calle Siemens # 43
Parque Industrial Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán,
San Salvador.
Tel.: (503) 278-3333
Fax: (503) 278-0233

SERVICIOS SOLAR

Alameda Dr. Manuel Enrique Araujo
Km. 5 Calle a Santa Tecla.
Plantel COGESA.
San Salvador
PBX: (503) 298-2706
Fax: (503) 279-4911

HONDURAS:

RELECTOR

Plaza Gral. San Martín # 346,
Colonia Palmira,
Tegucigalpa
Tel.: (504) 232- 4062
Fax: (504) 232- 4111

SOLARIS

Col. Palmira,
Av. Rep. de Chile # 218,
Tegucigalpa 2351.
Tel.: (504) 239-1028
Fax: (504) 232- 8213
E-mail: solaris@interdata.hn

SOLUZ - HONDURAS, S.A de C.V

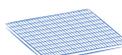
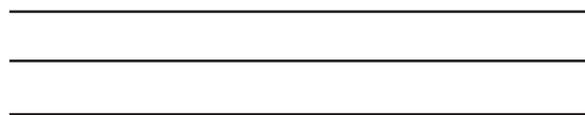
Tel.: (504) 557-5270, 232-5127
Fax: (504) 557-5129
E-mail: soluz@netsys.hn

ADESOL - Asociación para el Desarrollo de la Energía Solar

Tel.: (504) 232-3324
Fax: (504) 239-5691
E-mail: adesol@sdnhon.org.hn

Global Solar Services / Sistelcom

Col Alameda 2TMAve entre 10 y 11 calles.
Apartado Postal 30154 Toncontin,
Tegucigalpa, MDC.
Tel: (504) 239-9487, 232-2053, 231-1797
Fax: (504) 239-9485



Consultores y suplidores de equipos

CADELGA

San Pedro Sula.
Tel.: (504) 553-0821/ 557-4100
Fax: (504) 553-1793
Email: cadelga@publinet.hn

AUTOTEC

Tel.: (504) 226-5484/226-5492
Fax: (504) 226-5564
Email: autotec@tutopia.com

NICARAGUA:

ECAMI

Altos de Santo Domingo,
Las Sierritas,
Managua.
Tel.: (505) 276-0925
Fax: (505) 276-0240
E-mail: ecami@ibw.com.ni

TECNOSOL

Rotonda Bello Horizonte 150 mts. Arriba,
Casa L - I 20,
Managua.
Telefax: (505) 244-2205
E-mail: tecnosol@munditel.com.ni

TECSOL

Managua
Telefax: (505) 278-0940
E-mail: tecsolsa@tmx.com.ni

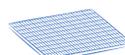
SUNISOLAR

Managua
Tel.: (505) 278-2630
Fax: (505) 2782630
E-mail: sunisolar_2000@yahoo.com

COSTA RICA:

SIEMENS

La Uruca 300 Mts. Este
Plaza Deportes.
San José 10022-100
Tel.: (506) 287-5065
Fax: (506) 233-5244
victor.munoz@siemens.com.mx



Consultores y suplidores de equipos

SOLTECA

Tel.: (506) 287-5065

Fax: (506) 233-5244

E-mail: solteca@racsa.co.cr

INTERDINAMICA

Barrio Aranjuez,

San José.

Tel.: (506) 221-8333

Fax: (506) 222-5241

E-mail: interdin@interdinamic.com

Web: <http://www.interdinamic.com>

Energía Centroamérica S.A.

Apartado 799-1007

San José

Tel: (506) 232 02 27

FAX: (506) 222 51 73

Celestial Power

Uvita de Osa, Puntarenas, Cantón de Osa

Tel: (506) 787-0215

Fax: (506) 787-0215

E-mail: info@celestialpower.com

Web: <http://www.celestialpower.com>

ENERCOS

Tel.: (506) 386 6559

Fax: (506) 260 3641

E-mail: solelect@racsa.co.cr

Durman Esquivel

Tel.: (506) 212 5800

Fax: (506) 256 7176

E-mail: lalvarez@grundfos.com

PANAMA:

SOLARPAN

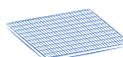
Mall - P.O. Box 6-9569. El Dorado,

507 Ciudad de Panamá.

Av. Balboa.

Tel.: 507- 213-8060

Fax : 507- 213-8062



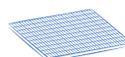
Consultores y suplidores de equipos

PASS

Calle Ramón Ariás, Edificio Malina, Planta Baja
Ciudad de Panamá
Tel.: (507) 263-8797/8635
Fax: (507) 263-8797
E-mail: pass@bellsouth.net.pa
Web: <http://www.panelsolar.com>

SOL ENERGY AS

Apartado 0819-11880 El Dorado,
Ciudad de Panamá
Tel/fax: (507) 317-0732
Cel: (507) 674-1511
E-mail: heine.aven@solenergy.com
Web: www.solenergy.com



Anexo 3. Conceptos básicos de energía

1. Energía y potencia

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. Ella es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas), así como con las observaciones de dichos procesos. La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo.

Fuentes de energía

Existen diferentes fuentes de energía, las cuales se pueden clasificar en dos grupos:

- **Fuentes renovables:** no se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada, por ejemplo, las cuencas hidrológicas y plantaciones de árboles.
- **Fuentes no-renovables:** están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso, como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

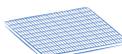
Formas de energía

La energía tiene diferentes formas, entre las cuales podemos citar las de mayor importancia:

- **Energía cinética:** la de un objeto en movimiento como por ejemplo, el agua de un río. La velocidad y masa del objeto determinan, en gran parte, la cantidad de su energía cinética. Cuanto más rápido fluye el agua, más energía estará disponible.
- **Energía potencial:** la de la posición de un objeto con respecto relativo a la tierra. Esta forma está almacenada y se convierte en energía cinética cuando el objeto se cae. Por ejemplo, el agua en un embalse tiene el potencial de caerse y, cuanto más alta la presa, más energía potencial contiene el agua.
- **Energía térmica (calor):** una forma de energía cinética causada por el movimiento de los átomos o las moléculas en un material, sea sólido, gaseoso o líquido. Su cantidad es determinada por la temperatura del material, entre más alta la temperatura, más energía está disponible. Por ejemplo, en la combustión de madera u otros materiales se genera calor.
- **Energía química:** la almacenada en átomos y moléculas; por ejemplo, en materiales combustibles y baterías (acumuladores).
- **Energía eléctrica:** más conocida como electricidad; es el flujo de los electrones en un material conductor, como un cable eléctrico.
- **Energía electromagnética (radiación):** la que todos los objetos emiten en diferentes cantidades. La luz es una forma visible de radiación.
- **Energía mecánica (o energía rotacional):** la de rotación de un eje girando. Esta se produce, por ejemplo, en una turbina hidráulica propulsada por el agua.

Transformación de energía

“Utilizar” la energía significa, transformar una forma de ella en otra. Por ejemplo, aprovechando la fuerza del viento, se convierte la energía cinética en mecánica, la cual, luego se puede convertir en eléctrica. Para obtener iluminación, se convierte la eléctrica en electromagnética o radiación. Igualmente, “generar” energía significa convertir una forma de ella en otra; por ejemplo, la cinética de agua en movimiento a mecánica, en un sistema hidráulico.



Conceptos básicos de energía

Los términos “utilizar” y “generar” energía científicamente no son correctos porque ella no se puede crear ni destruir. Se puede transformar de una forma a otra, pero no se “gasta” y su cantidad total se mantiene igual en cualquier proceso. Lo anterior es la base de la Primera ley de la termodinámica. Sin embargo, en términos prácticos sí se gasta la energía, debido a que se convierte en una forma que ya no se puede aprovechar. Por ejemplo, cuando se quema una rama seca, la energía química contenida en la madera se convierte en térmica, o sea, en calor, la cual se puede aprovechar; pero luego se dispersa en el ambiente y no se puede utilizar nuevamente.

Oferta, demanda y consumo

En el análisis de la utilización de energía en el nivel nacional o sectorial se pueden distinguir tres conceptos:

- Oferta de energía: se requiere de ella para aplicaciones como iluminación, cocción, procesos industriales y transporte. La oferta energética puede ser diferente de un lugar a otro, dependiendo de condiciones locales como el clima y las costumbres, y según los diferentes tipos de usuarios (viviendas, industrias, transporte, etc). Se puede satisfacer una necesidad específica de energía con diferentes fuentes e, igualmente, no todas las necesidades se pueden satisfacer por falta de fuentes o presupuesto.
- Demanda por energía: necesidad de fuentes que puedan satisfacer las necesidades de energía. Depende de factores como población, nivel de desarrollo económico, disponibilidad de tecnología, etc. Igual a éstas, no siempre se puede satisfacer la demanda por energía.
- Consumo de energía: utilización real de fuentes; también llamada “demanda expresada”.

Eficiencia

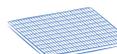
En todas las transformaciones de energía, se pierde una parte de ella debido a su conversión parcial en una forma que no se puede aprovechar, generalmente en calor. La fracción de la energía utilizable, como resultado de un proceso de conversión, y su insumo se llama la **eficiencia del proceso**, la cual, generalmente, se representa como un porcentaje. En fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{egreso de energía utilizable}}{\text{insumo de energía}} \times 100\%$$

Cuanto más alta sea la eficiencia, menos energía se pierde. La siguiente tabla muestra eficiencias típicas para algunos procesos de conversión:

Eficiencias típicas de procesos de conversión energética

Equipo	Eficiencia típica (%)
Motor de diesel	30 - 45
Motor eléctrico	80 - 95
Turbina hidráulica	70 - 99
Bombillo eléctrico incandescente	5
Estufa de LPG	60 - 70
Estufa de leña	12 - 30



Conceptos básicos de energía

Potencia

Este es un concepto muy relacionado con el de energía. Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido. Esto se ilustra así: cuando aplicamos un proceso de conversión de energía, estamos interesados en dos cosas:

- la cantidad de energía convertida, y
- la velocidad a cual se convierte. Esta velocidad se llama potencia (P), expresada como energía por segundo o, en fórmula, de la siguiente manera:

$$\text{energía} = \text{potencia} \times \text{tiempo} \quad \text{ó} \quad \text{potencia} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

Por ejemplo, un tanque de gasolina de un vehículo contiene una cantidad dada de energía. Este se puede usar en un cierto período de tiempo, o sea, el proceso de combustión puede ser corto o largo. Cuanto más corto el período, más alta es la potencia. Este principio aplica para cualquier proceso de conversión de energía.

Si bien en lenguaje común estos términos se intercambian frecuentemente, cuando se habla técnicamente sobre un sistema de generación o utilización de energía es importante distinguirlos bien.

Unidades de medición

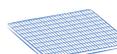
Existen diferentes unidades aplicadas para la expresión cuantitativa de energía y potencia. La unidad científica y más usada para energía es el **Joule** (o julio, abreviado como J). Otras unidades usadas son, por ejemplo caloría, toneladas de carbón equivalente (Tce) y el British Thermal Unit (BTU). Existen factores específicos para convertir las diferentes unidades en otras.

La unidad para potencia es el **Watt** (o vatio, abreviado como W). Este es definido como 1 joule por segundo ("J/s"). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP).

Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1.000; por ejemplo, 1.000 watt es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW. La siguiente tabla resume los prefijos y símbolos usados:

Símbolo	Prefijo	Multiplicador
k	kilo	1.000 ó 10^3
M	mega	10^6
G	giga	10^9
T	tera	10^{12}

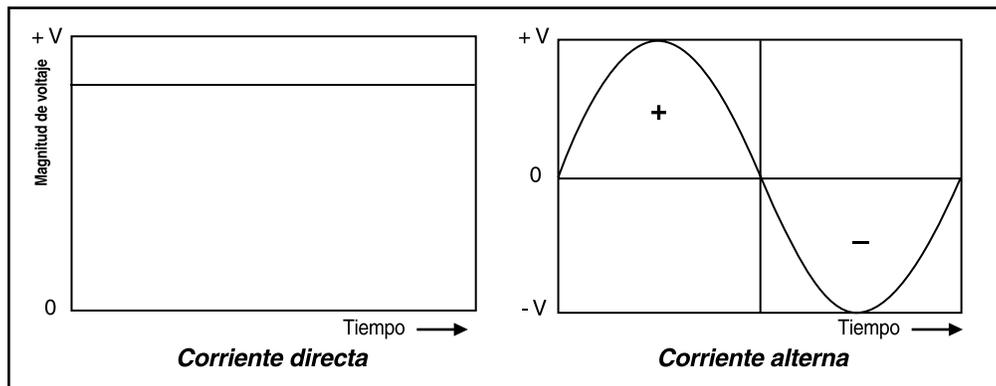
Adicionalmente, se puede agregar índices a una unidad para indicar la forma de energía o potencia. Por ejemplo, para la potencia de un equipo de convertir energía térmica se usa kW_{th} . Igualmente, la potencia eléctrica se indica como kW_{el} y, la potencia mecánica como kW_{m} .



2. Electricidad

Corriente eléctrica

El flujo de la energía eléctrica, o la electricidad, se llama corriente, cuya unidad de medida son los amperios (A). Para generar una corriente eléctrica a través de un cable es necesario tener una “diferencia de tensión” entre sus dos extremos (diferencia de potencial). Igualmente si se quiere hacer que el agua se mueva a través de un tubo, necesita tener una diferencia de presión entre los dos extremos del tubo. Si se dispone de una gran diferencia de tensión, pueden transportarse grandes cantidades de energía por segundo a través del cable; es decir, grandes cantidades de potencia. La tensión eléctrica es equivalente a voltaje, medido en voltios (V). La potencia eléctrica en watts es igual al voltaje multiplicado por el amperaje ($P = V \times A$).



Los generadores eléctricos pueden producir dos tipos de corriente:

- **Corriente directa (CD):** donde la energía circula siempre en una única dirección, del punto positivo al negativo.
- **Corriente alterna (CA):** donde esta alterna continuamente su dirección en un patrón cíclico, en forma sinusoidal. Es causado por el ciclo sinusoidal del voltaje, con un pico positivo y uno negativo (véase la figura). Al número de ciclos por segundo se le llama frecuencia, expresado en **hertz** (Hz). En la red eléctrica, generalmente, es de 50 ó 60 Hz.

La corriente directa se utiliza sólo en sistemas de baja capacidad como, por ejemplo, baterías secas (pilas), baterías de vehículos y sistemas fotovoltaicos (de baja tensión). Sistemas grandes de alta tensión, como las centrales eléctricas, generan corriente alterna, la cual es suministrada a través de la red eléctrica a las viviendas y centros productivos. Una de las razones para el uso de la corriente alterna es que es más barato aumentar o disminuir su voltaje y, cuando se desea transportar a largas distancias, se tendrá una menor pérdida de energía si se utiliza la alta tensión. Con un inversor se puede transformar la corriente directa en alterna.

Para expresar la cantidad de energía eléctrica o electricidad, generalmente, se usa la unidad watt/hora (o vatio/hora, Wh). Un watt/hora es equivalente a la cantidad de energía convertida, durante una hora, por un equipo con una potencia de 1 watt. Para sistemas de baja tensión, como los fotovoltaicos,

Conceptos básicos de energía

también se puede expresar la energía eléctrica en amperios/hora (Ah), equivalentes a la generación o utilización de una corriente de 1 amperio durante una hora. Para baterías, generalmente se indica la capacidad de acumulación en amperios/hora. La relación entre las dos unidades de energía eléctrica es la siguiente:

$$Wh = V \cdot Ah \quad \text{donde } V \text{ es la tensión o el voltaje del sistema.}$$

Factor de capacidad (factor de planta)

El factor de capacidad o de planta, es un indicador para medir la productividad de una planta de generación eléctrica como por ejemplo, una turbina eólica o un sistema hidroeléctrico. Este indicador compara su producción real, durante un período dado, con la cantidad que se habría producido si hubiese

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}} \times 100\%$$

funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo. En fórmula:

Por ejemplo, un sistema de 1 kW, teóricamente, podría generar 8.760 kWh en un año⁴. Sin embargo, la planta no puede funcionar el 100% del tiempo, por razones de mantenimiento periódico, fallas técnicas o falta de combustible ó recurso renovable. Si la producción real de esta planta en un año dado fue de 6.000 kWh; entonces, el factor de capacidad para ese período sería de 68,5%.

Demanda máxima

La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas (motores, compresores, iluminación, equipo de refrigeración, etc.) operando al mismo tiempo, es decir, la demanda máxima corresponde a un valor instantáneo en el tiempo, medido en unidades de potencia. No es igual encender una línea de motores al mismo tiempo que hacerlo en arranque escalonado. Los picos por demanda máxima se pueden controlar evitando el arranque y la operación simultánea de cargas eléctricas.

Factor de demanda

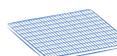
Es la razón entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada, en un instante de tiempo determinado.

El factor de demanda máximo es igual a la razón de la demanda máxima en un instante dado, entre la potencia del sistema.

Sistema interconectado de generación eléctrica

Se usan diferentes fuentes para la generación de electricidad, en América Central. Las principales son: la hidroeléctrica, la geotermia y los combustibles fósiles, como el diesel y el búnker. Dentro del sistema interconectado nacional, la demanda varía, dependiendo de la hora del día, el día de la semana y también, de la temporada. Para atender la demanda, se debe planificar la generación eléctrica por parte de las diferentes plantas del sistema, según las variaciones esperadas. Plantas de generación de base operan en

⁴ Energía=potencia x tiempo, entonces la energía generada sería 1kW x 24 horas/día x 365 días = 8,760 kWh



Conceptos básicos de energía

forma continua para satisfacer una demanda mínima y generalmente, son las que tienen los costos de operación más bajos.

Para las horas de alto consumo, u “horas-pico”, se aplican generadores adicionales para aumentar la producción de electricidad. En el mercado de ocasión eléctrico, se pagan tarifas mayores en estas horas.

Para la compra-venta de energía eléctrica, frecuentemente se aplica el término “potencia firme” de una planta de generación dada. Esta se define como la potencia que el generador puede garantizar durante un periodo dado; por ejemplo, en las “horas-pico”, o todo el año. Los contratos de compra y venta de electricidad, generalmente, se establecen con base en la capacidad firme. Dado que las fuentes renovables dependen de los recursos naturales, la potencia firme puede ser considerablemente más baja que la capacidad instalada, lo cual desfavorece su competitividad en el mercado eléctrico, a diferencia de la generación con base en combustibles fósiles que puede operar ofreciendo “potencia firme” en cualquier momento, excepto en los tiempos de parada por mantenimiento.

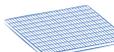
Magnitudes de Energía y potencia

Energía:

- 1 kWh Energía requerida para subir la temperatura de 1 litro de agua con 1 grado.
- 1 MWh Energía requerida para manejar 1 vehículo por 1.000 kilómetros.
- 4.7 TWh Electricidad consumida en un período de tiempo; por ejemplo, la electricidad en Guatemala en 1999.

Potencia:

- 1 kW Potencia de una placa de una estufa eléctrica.
- 10 kW Potencia de un pequeño tractor.
- 1 MW Potencia de una central eléctrica que supe electricidad a una comunidad de unas 20.000 personas.



Anexo 4. Cálculos para un sistema básico fotovoltaico (ejemplo)

Seguidamente se da un ejemplo de la estimación de la cantidad de módulos y baterías requerida para un sistema fotovoltaico básico (corriente directa a 12 voltios), para aplicaciones eléctricas básicas. En el caso de que el sistema requiera de una capacidad mayor y/o un inversor para suplir corriente alterna, el esquema aquí presentado, es más elaborado.

	E1	E2	E3	E4=E5*E2*E3
Equipo	Número	Carga (vatios)		
Lámpara	3	12	3	108
Radio	1	25	3	75
Televisor	1	45	2	90

Cálculo de la corriente requerida

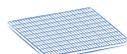
A1	Carga total diaria (sumar la columna E4).	273	watts-hora/día
A2	Tensión CD del sistema (generalmente 12 ó 24 V).	12	voltios
A3	Carga diaria corriente (A1/A2).	22.8	amperios-hora
A4	Multiplicar con el factor de seguridad 20% (para compensar las pérdidas en las baterías y otros componentes).	1.2	
A5	Carga diaria corriente corregida (A4*A3).	27.3	amperios-hora
A6	Promedio de horas de sol por día.	4	horas
A7	Amperaje que el sistema tendrá que producir (A5/A6).	6.8	amperios

Cálculo del número de paneles

B1	Amperaje máximo del modulo solar seleccionado (según especificaciones del fabricante).	3.9	amperios
B2	Divida la línea A7 entre la B1 para obtener el número de módulos que se necesita.	1.75	
B3	Redondee al número completo inmediato superior.	2	

Cálculo del número de baterías

C1	Carga total diaria (A5).	27.3	amperios-hora
C2	Días de reserva (este es el tiempo que el sistema tiene que estar funcionando sin sol).	3	
C3	Capacidad nominal del banco de baterías (C1*C2).	81.9	amperios-hora
C4	Factor de profundidad de descarga (generalmente 80%, significa que siempre se deja un 20% de reserva en las baterías).	0.8	
C5	Capacidad corregida del banco de baterías (C3/C4).	102.4	amperios-hora
C6	Capacidad nominal de batería (según especificaciones del fabricante).	120	amperios-hora
C7	Número de baterías (C5/C6).	0.9	
C8	Número de baterías (redondear C7).	1	

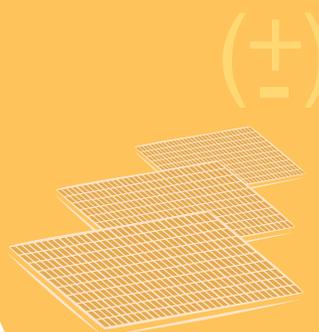


Esta publicación se enmarca dentro de los esfuerzos llevados a cabo en la región de América Central por la Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network (BUN-CA) que ha ejecutado, en el período 2000 - 2002, la iniciativa regional "Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central" (FOCER), junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como agencia de implementación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF).

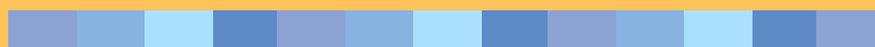
La iniciativa FOCER tiene como objetivo la remoción de las barreras que enfrenta la energía renovable, a través del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, seminarios y talleres de capacitación y la asistencia a gobiernos en el desarrollo a políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

BUN-CA es una organización regional no gubernamental, que busca contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de América Central para aumentar su producción por medio del uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, especialmente en las áreas rurales. El accionar de BUN-CA se enfoca en tres áreas temáticas: energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

Manuales sobre energía renovable SOLAR FOTOVOLTAICA



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



FOCER Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central

BUN-Centro América / Apartado Postal 573-2050 / San José, Costa Rica

Tel. (506) 283-88-35 / Fax. (506) 283-8845

Correo electrónico: bun-ca@bun-ca.org / biomass@racsa.co.cr

Sitio web: <http://www.bun-ca.org>