

# Energía Renovable para Centros de Salud Rurales



**Fotos de la Portada:**

Izquierda: Un refrigerador funcionando a base de FV es usado en un centro de salud en Ghana.  
Roger Taylor, NREL/PIX05504

Centro: Pacientes que buscan los servicios primarios más básicos en la clínica San Martín, cerca de Matagalpa, Nicaragua. Ken Olson, SEI/PIX06486

Derecha: Un médico del pueblo revisa un niño en una clínica que funciona con FV.  
Jim Welch, Remote Power/PIX06006

# Energía Renovable para Centros de Salud Rurales

**Antonio C. Jimenez**

Laboratorio Nacional de Energía Renovable

**Ken Olson**

Energía Solar Internacional

Traducido por

**Fernando Haderspock**

National Rural Electric Cooperative Association

**Jorge Ayarza**

American Wind Energy Association

**Septiembre 1998**

Publicado por

**Laboratorio Nacional de Energía Renovable**

1617 Cole Boulevard

Golden, Colorado 80401-3393

Estados Unidos de Norte América



## PROLOGO

Durante los últimos 20 años El Programa Extendido de Inmunización de la Organización Mundial de la Salud (OMS/PEI) ha jugado un papel líder en la evaluación de la posibilidad de usar varios tipos de fuentes de energía para la Cadena Fría de vacunas. Esto se hizo en estrecha colaboración con un socio mayor como la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio), UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Niñez) y USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) y con los países receptores, principalmente en Sudamérica y África. Rápidamente resultó obvio que la energía solar fue la tecnología que podría jugar un papel crítico para asegurar una buena y segura refrigeración de vacunas en los centros de salud remotos.

Gradualmente, conforme la tecnología de refrigeración solar se ha estandarizado y por lo tanto más confiable, en Uganda, Zaire, Perú, Mianmar e Indonesia, para nombrar sólo unos pocos se han lanzado programas en gran escala

Aunque el uso de la refrigeración solar ha capacitado los programas nacionales de inmunización para expandir su alcance a poblaciones remotas y para asegurar que se entreguen vacunas de buena calidad a los niños y a sus madres, las evaluaciones de estos programas han salido a luz varias debilidades, que quedan por resolver. Uno de los mayores problemas que encara la introducción de la tecnología de energía renovable es que mantiene su costo relativamente alto. Muy a menudo los "defensores de la energía renovable" minimizan el alto costo inicial de la tecnología y argumentan que los costos recurrentes son insignificantes. Lamentablemente aunque los costos recurrentes evidentemente sean bajos, estos existen. Las baterías deben reemplazarse después de unos años (cinco años en el mejor de los casos y algunas veces en intervalos más cortos, dependiendo de su calidad y de su adaptabilidad a todo el sistema). Si no se hace nada a nivel de país para planificar y presupuestar el reemplazo de estas baterías (equipo, labor y transporte a las localidades), entonces una excelente tecnología resulta inútil e incrementa el número de sistemas "muertos" que yacen en las áreas remotas desprestigiando la imagen de la energía renovable.

Por eso, durante los años pasados la OMS/PEI ha estado buscando modos de usar la tecnología de energía renovable para un rango más amplio de aplicaciones que podrían cubrir las necesidades de los centros de salud rurales y de la comunidad en general. La motivación básica de este enfoque fue que, proporcionando un número de servicios al centro de salud y a la comunidad, la tecnología resulta mejor conocida y por lo tanto atrae el interés de más público y del sector privado. Esto puede conducir a la comunidad a hacerse cargo realmente de la responsabilidad del mantenimiento a largo plazo de los sistemas. Incrementado el uso de renovables en la comunidad (p.e. en escuelas, pequeñas oficinas, hogares privados, casas de la comunidad) permitirá también desarrollarse y mantenerse la experiencia técnica a nivel de la localidad.

Se han iniciado unos cuantos proyectos con esta propuesta en mente. Uno de tales proyectos se describe en esta guía. Sin embargo, queda mucho por aprender, para hacer este concepto sostenible.

Esta guía es una excelente iniciativa, que contribuye completamente a la propuesta de arriba, considerando todas las necesidades de energía de los servicios de salud rural y proporcionando guía técnica de cómo pueden cumplirse con las tecnologías de energía renovable, llena un gran vacío. Felicito a los autores de esta guía y a sus patrocinadores. Manifiesto mis enormes deseos para que se lancen muchas iniciativas más que proporcionen energía limpia para satisfacer las apremiantes necesidades de salud en áreas rurales. ¡La energía renovable es la energía que debemos usar hoy donde tenga sentido económico! ¡Y nosotros haremos mucho más para demostrar que tiene sentido!

Michel Zafran, Coordinador

Calidad de Servicios de Inmunización, Programas Expandidos de Inmunización  
Organización Mundial de la Salud

## PREFACIO

El servicio de salud rural es una importante prioridad nacional e internacional. Sin embargo, la disponibilidad de electricidad para apoyar al adecuado servicio de salud rural es menos que adecuado en muchos países. Recientemente el desarrollo de sistemas de energía confiable y razonablemente cotizada ha hecho posible proporcionar vacunas y otros servicios básicos de atención de salud en áreas remotas. Un número de instituciones internacionales, nacionales, entidades locales, ONGs y empresas privadas ahora están desplegando sistemas de energía renovable a las comunidades rurales en el mundo subdesarrollado donde la atención de salud en áreas rurales es una prioridad nacional.

Debido a que la energía renovable regionalmente es diversa, el sistema de energía renovable adecuado deberá ser regional y localmente dependiente. Aunque los sistemas fotovoltaicos (PV) han preparado el camino y están siendo desplegados en la mayoría de los casos deberían considerarse varias mini/micro fuentes de energía renovable eléctrica. Uno de los objetivos de este libro guía es difundir la oportunidad fuera de PV en las áreas de buen viento y de recursos hídricos. También en un futuro próximo verán la gasificación de micro bio masa o combustión directa, así como entrar en juego las tecnologías electrotérmicas solares concentradas.

Los tres importantes conductores en la selección son la disponibilidad de fuentes naturales, el tamaño y los horarios de las cargas eléctricas y el costo de los diferentes componentes, incluyendo las alternativas de combustibles fósiles. Esta guía proporciona las consideraciones y algunas comparaciones en la selección de los sistemas alternativos renovables e híbridos para los centros de salud.

Los Programas de Energía de Villas del Laboratorio Nacional de Energía Renovable ha comisionado este libro guía para ayudar a comunicar el rol apropiado de los renovables en la provisión de servicios de salud rurales. Los dos autores principales, Tony Jiménez y Ken Olson, combinan el análisis técnico y el diseño práctico, despliegue y experiencia de entrenamiento que les ha hecho el equipo tan efectivo. Es nuestra intención que esta guía sea útil para varias audiencias en su consideración de renovables como una opción seria de electrificación de centros de salud rural. Puede ser útil además para practicantes de energía renovable en la definición de los parámetros para diseñar y desplegar sus productos para los centros de salud.

Esta es la primera de una serie de guías de aplicaciones que el Programa de Energía de Villas de NREL está comisionando para acoplar sistemas comerciales renovables con aplicaciones rurales, incluyendo agua, escuelas rurales y micro empresas. La guía está complementada por las actividades de desarrollo del Programa de Energía de Villas de NREL, proyectos pilotos internacionales y programas de visitas profesionales. Para mayor información sobre el Programa de energía para villas de la NREL, por favor contáctese con nuestra red Internet <http://www.rsvp.nrel.gov/rsvp/>.

Larry Flowers  
Director, de Proyectos Internacionales  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

# CONTENIDO

Como usar esta guía .....	1
Introducción : La Necesidad de atención Médica Primaria .....	2
Capítulo 1: Aplicaciones de Centros de Salud .....	5
Capítulo 2: Componentes del Sistema Eléctrico .....	13
Visión General del Sistema .....	13
Fotovoltaicos .....	14
Generadores de Turbina de aire .....	15
Generadores Diesel .....	17
Baterías .....	18
Inversores .....	19
Controladores/Medidores/Equilibrio de Sistemas .....	19
Capítulo 3: Sistema de Selección y Economía .....	21
Análisis de Costo del Ciclo de Vida .....	21
Consideraciones de Diseño y Economía .....	22
Capítulo 4: Consideraciones Institucionales .....	26
Consideraciones Generales .....	26
Consideraciones Institucionales .....	28
Capítulo 5: Estudios de Casos .....	30
#1-Fotovoltaicos para Inmunización: Experiencia en Africa .....	30
#2-Centros de Salud Energizadas por Fotovoltaicos .....	32
#3-300 Centros de Salud Energizadas por Fotovoltaicos: Programa Nacional del Perú ...	33
#4-Fotovoltaicos para la Salud: Una Propuesta Integrada .....	34
#5-República dominicana .....	36
Capítulo 6: Lecciones aprendidas .....	37
Referencias .....	39
Bibliografía .....	39
Glosario .....	41
Respecto a los Autores .....	44

# COMO USAR ESTA GUIA

## ¿Para Quién es esta Guía?

Aunque contenga información útil para cualquier interesado en la electrificación de centros de salud, esta Guía está escrita principalmente para los que toman decisiones entre ministros de gobierno o agencias privadas que están interesadas o involucradas en la electrificación de los centros de salud usando tecnologías de energía renovable (ER).

## ¿Cuál es el Propósito de esta Guía?

El propósito de esta guía es dar a los lectores un conocimiento amplio de los aspectos técnicos, sociales y organizacionales de la electrificación de la clínica de salud. El objetivo de los autores es ayudar a los lectores a evaluar exactamente sus necesidades eléctricas de los Centros de salud, seleccionar la tecnología apropiada y de costo efectivo para satisfacer estas necesidades y finalmente para colocar en su lugar una infraestructura efectiva para instalar y mantener el hardware.

## ¿Qué hay en esta Guía?

Esta guía da una visión general amplia de la electrificación de la clínica de salud con un énfasis en el uso de la ER. El uso de tecnologías de calor solar para cubrir varias aplicaciones de calor se discute brevemente. El Capítulo 1 discute las típicas aplicaciones eléctricas de la Clínica de Salud, tales como refrigeración, alumbrado y comunicaciones. Además se da información sobre los diseños típicos de energía y ciclos para cada tipo de equipo. En el Capítulo 2 se discuten los componentes de colocación de los sistemas de energía. Para cada componente hay una descripción de cómo trabaja, sus costos, tiempo de vida, operación adecuada, mantenimiento y sus limitaciones. La primera sección del Capítulo 3 da una visión general del análisis de costo del ciclo de vida. El resto del capítulo se dedica a discutir los diferentes factores que influyen en el diseño de los sistemas de ER aisladas para una localidad en particular. El Capítulo 4 explora los diferentes temas sociales e institucionales que nece-

sitan conducirse para tener un programa exitoso de electrificación de la clínica de salud. Hay algún énfasis en este capítulo referente a los proyectos en gran escala hechos por gobiernos o entidades privadas, pero una buena parte del contenido, especialmente la relacionada con el mantenimiento, usuario, entrenamiento y sostenibilidad de proyectos serán de interés de un público más amplio. El Capítulo 5 detalla cinco casos de estudio de electrificación de la clínica de salud. El Capítulo 6 da Lecciones aprendidas generales que pueden aplicarse a proyectos futuros. A estos les siguen una lista de referencias, la bibliografía y un glosario de los términos usados a través de esta Guía.

## INTRODUCCION : LA NECESIDAD PARA LA ATENCION DE SALUD PRIMARIA

"Hasta que no se organice y acepte como una obligación de toda la gente y los países, la creación y mantenimiento de condiciones decentes de vida para toda la gente—hasta entonces no podremos, con cierto grado de justificación, hablar de la humanidad como civilizada.

Albert Einstein 1945

Los centros de salud rurales en los países subdesarrollados son el último vínculo en un frágil cordón umbilical de soporte. Este cordón umbilical de infraestructura tiene dimensiones.



Ken Olson, SEI/PIX06489

**Figura 1.1** Una familia espera la atención médica en la Clínica El Pallar, cerca de Huamachuco, Perú.

La atención médica en los países subdesarrollados depende en gran medida del soporte y administración del gobierno nacional, servicios humanos de caridad, organizaciones no gubernamentales y organizaciones religiosas. Estos esfuerzos están complementados por la ayuda internacional. A través de los esfuerzos de estas organizaciones, los sistemas de distribución de salud se realizan con la provisión de suministros médicos, servicios de salud y personal médico. Las necesidades son inmensas y los esfuerzos son a menudo severamente reducidos en suministros y mal equipados, particularmente en áreas remotas y comunidades distantes.

La relación entre salud y energía es apremiante. La Organización Mundial de la Salud (OMS) declara que "La salud y la energía son factores interdependientes que en gran medida determinan el progreso del desarrollo rural. Una estrategia de energía para las áreas rurales será crítica en el logro permanente de mejoras de la salud. La OMS cree que la energía solar puede jugar un papel importante en el perfeccionamiento de la energía para la salud si se integra con un conjunto más amplio de usos finales".<sup>1</sup>

Los programas de atención médica básica son esenciales para el avance de los programas de supervivencia infantil y la calidad general de las condiciones humanas. La distribución de la energía mediante los sistemas convencionales ha fallado en su confiabilidad y accesibilidad, en la solución de las modestas necesidades de los centros de salud rurales en muchos países subdesarrollados. Los





Jim Welch, Remote Power/PIX06003

**Figura 1.2. Módulos fotovoltaicos suministran electricidad a una clínica local en Bengala Occidental, India.**

suministros de gas y keroseno son a menudo costosos y nada confiables. Estos combustibles proporcionan luz de mala calidad. Los refrigeradores que funcionan con propano proporcionan adecuada preservación de las vacunas, pero no los refrigeradores más difundidos que acostumbran usar keroseno. Los combustibles, gasolina y diesel pueden mover motores generadores para servicio eléctrico, pero estos generadores a menudo, no son funcionales, siempre son caros y generalmente reservados para emergencias cuando se disponen de ellos. La mayoría de los centros de salud rurales en regiones subdesarrolladas están sin energía eléctrica.

La energía renovable del sol y el viento es un recurso abundante y disponible. Aunque estos recursos son capaces de proporcionar electricidad suficiente y confiable, son mínimamente explotados. La electricidad confiable producida in situ ha probado ser capaz de proporcionar electricidad de alta calidad para refrigeración de vacunas, alumbrado, comunicaciones, aplicaciones médicas, suministro de agua limpia y sanitarios. También puede perfeccionarse la administración, la logística, distribución e información, educación y comunicación. En las localidades donde es difícil mantener un personal médico entrenado en el campo, la electricidad confiable puede proporcionar amenidades de estilo de vida altamente valorables, tales como alumbrado, música y comunicaciones radiales. Existen ejemplos exitosos de Centros de salud electrificadas que generan el ingreso de operación para asistir al auto soporte financiero (ver Casos de Estudio, Capítulo 5).

La política internacional considerando la salud rural está girando hacia la descentralización de los servicios y estrategias más amplias. La Atención Médica Primaria (AMP) ha sido enfocada selectivamente en los programas de supervivencia infantil, tales como la inmunización y la terapia de rehidratación oral.<sup>2</sup> Un enfoque más ampliado está progresando extendiéndose fuera de las paredes de la Clínica de Salud para abarcar aspectos de salud más amplios de la comunidad. La AMP amplia incluye tales ítems como la provisión de suministro de agua limpia y la promoción de educación de la salud. La coordinación y asociación con otros sectores de servicio humano incluyendo la educación, la agricultura y el desarrollo económico son deseables, especialmente cuando los fondos son limitados.

## Realidades de la Salud Mundial

1. De más de 52 millones de muertes en 1996, más de 40 millones fueron en países subdesarrollados, incluyendo casi 9 millones en los países menos desarrollados.
  2. En 1995, 5 millones de criaturas nacidas en países subdesarrollados murieron en el primer mes de vida.
  3. Las enfermedades infecciosas y parasitarias sumaron el 43% de los 40 millones de muertes en países subdesarrollados.
  4. La primera depredadora entre las enfermedades infecciosas en 1996 la infección respiratoria aguda baja, que mató a 3.9 millones de personas. Las muertes debidas a otras enfermedades infecciosas en 1996 fueron como sigue:
    - Tuberculosis (3 millones)
    - Diarrea (2.5 millones)
    - Malaria (2.5 millones)
    - HIV/SIDA (1.5 millones)
  5. El porcentaje de cobertura de niños inmunizados contra las seis muertes mayores de enfermedades de la niñez subió de 5% en 1974 a 80% en 1995.
  6. Más de 120 millones de niños menores de cinco años fueron inmunizados en la India contra la poliomielitis en un sólo día en 1996.
- (de "Cinco realidades de del Informe de Salud Mundial"<sup>3</sup>)

## ¿Qué es una Clínica de Salud?

En esta Guía el término "clínica de salud" como un término que se refiere a muchos tipos de instalaciones médicas en un rango de tamaño variable. En el extremo pequeño que varía hacia abajo a lo que puede llamarse "posta sanitaria". Esto consta típicamente de una instalación de una o dos piezas que pueden o no estar íntegramente dedicadas a proporcionar servicios de salud. Generalmente no hay un doctor permanente o una enfermera presente. Un doctor o enfermera pueden visitar periódicamente. Adicionalmente a la enfermera o doctor itinerantes, la instalación puede tener un trabajador de salud primaria a tiempo completo o parcial.<sup>4</sup> Los servicios disponibles en las clínicas incluyen el tratamiento de enfermedades menores y la atención de heridas menores. Los pacientes con problemas más serios son remitidos al hospital del distrito local. En general estas instalaciones tienen sólo los ítems más básicos, equipos de comunicación, luces y ocasionalmente un refrigerador para vacunas.



Jim Welch, Remote Power/FPX04768

**Figura 1.3.** El sistema fotovoltaico suministra energía al refrigerador de vacunas y alumbrado en la clínica de salud en Zambia.

Una etapa superior a la posta sanitaria es la "clínica de salud" con algunas instalaciones mayores y con mayor probabilidad de tener una(s) enfermera(s) a tiempo completo. Una clínica de salud ofrece un conjunto de servicios más amplio que la posta sanitaria. Algunos centros de salud pueden tener una o dos camas para las enfermos o heridos más serios. Estas instalaciones tienen más probabilidades de tener equipos como refrigeradores para vacunas y pueden tener algunos equipos de laboratorio sencillos tales como una centrifugadora o microscopio. Adicionalmente las cargas de energía pueden incluir alumbrado y una TV/VCR para el personal alojado.

En el extremo mayor de continuidad de la clínica de salud están los pequeños hospitales rurales con una docena o varias docenas de camas. En muchos países subdesarrollados, este es el menor nivel de instalación con personal permanente de doctores. Junto a los doctores están apoyando el personal tales como enfermeras, auxiliares de enfermeras y trabajadores de mantenimiento. Los hospitales normalmente ofrecen servicios tales como cirugía, rehabilitación, laboratorio y servicios de radiología.



Kent Olson, SEI/FPX06486

**Figura 1.4.** Pacientes que buscan los servicios primarios más básicos en la Clínica San Martín, cerca de Matagalpa, Nicaragua.

# CAPITULO 1: APLICACIONES DE LAS CLINICAS DE SALUD

## Capítulo Introducción

Las aplicaciones necesarias más comunes en la atención médica rural requieren alguna forma de energía. Este capítulo describe las aplicaciones de Centros de salud más comunes. Las tablas en este capítulo dan los requerimientos típicos de energía y los ciclos de tareas para cada aplicación. El estudio de este capítulo ayudará al lector a identificar las aplicaciones más críticas para una Clínica de Salud en particular

## Refrigeración de Vacunas y Congelamiento de Bloques de Hielo

Los programas de inmunización dependen de la refrigeración segura para preservar vacunas para prevenir o erradicar enfermedades peligrosas,

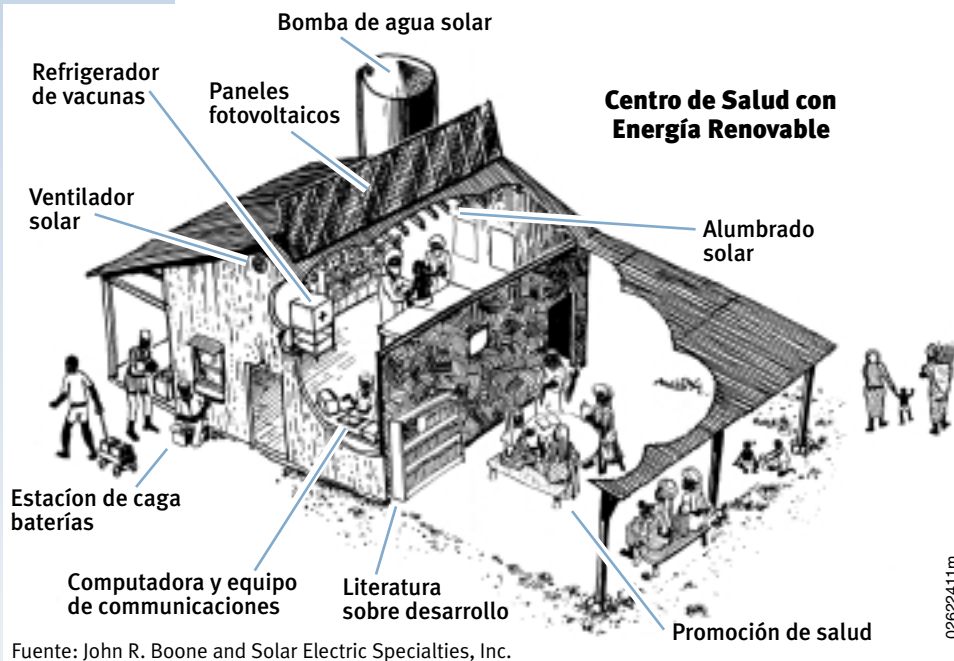
incluyendo la Polio, Difteria, Tétano, Perutsis, Tuberculosis, Measlas, Fiebre amarilla y Hepatitis B. La Cadena Fría es un sistema de gente y equipo presente en casi todos los países que intentan mantener vacunas a la temperatura adecuada conforme distribuyen los fabricantes a las localidades donde se administran. La falla de seguridad dentro del rango especificado de temperatura, desde el punto de fabricación hasta el punto de utilización, es crítica para la misión de la Cadena Fría.

En los distritos y centros de salud rural las vacunas se almacenan por más de un mes y requieren una temperatura estable entre  $^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) y  $8^{\circ}\text{C}$  ( $46^{\circ}\text{F}$ ). Una vez que las vacunas han sido expuestas a las temperaturas fuera de este rango, su potencia se pierde para siempre. No es raro para el trabajador en salud que la vacuna se haya vuelto impotente debido a la exposición al calor sin indicadores seguros o pruebas completas de laboratorio.

Los centros de salud más remotos en esta cadena logística de suministro pueden también ser capaces de congelar paquetes de agua para transportar las vacunas en enfriadores a los lugares circundantes atendidos por la Clínica de Salud. Estos lugares pueden estar hasta una distancia de varios días de viaje, a pie o a mula, desde la última Clínica de Salud en la Cadena Fría.

La refrigeración por compresión que requiere electricidad, ofrece el control de temperatura más estable para las vacunas y para la capacidad de hacer hielo.

La refrigeración por absorción, en base a propano o kerosene, es común en Clínica de Salud sin electricidad. Los refrigeradores por absorción son vulnerables a la interrupción de su suministro de combustible ocasionando la pérdida de las vacunas. Los refrigeradores a keroseno no pueden mantener las vacunas adecuadamente debido a que la temperatura no se controla termostáticamente. La refrigeración a



Fuente: John R. Boone and Solar Electric Specialties, Inc.

Figura 1.1. Clínica de Salud mostrando las Aplicaciones Típicas.



Ken Olson, SEI/PIX06490

**Figura 1.2.** Personal de atención médica recibiendo entrenamiento, en la operación de sus nuevos refrigeradores de vacunas en base a energía fotovoltaica en la Clínica El Molino, cerca de Trujillo, Perú.

**Tabla 1.1. Consumo de Energía para Alumbrado**

Tipo de lámpara	vatios	luz producida lúmenes	Eficiencia Lúm/vatio	Tiempo de vida (horas)
Vela		1-16		
Lámpara a keroseno		10-100		
Foco incandescente	15	135	9	850
	25	225	9	850
	100	900	9	850
Foco halógeno	10	140	14	2.000
	20	350	18	2.000
Tubo fluorescente	8	400	40	5.000
	13	715	40	5.000
	20	1250	54	7.500
Compacto fluorescente	15	940	72	10.000
	18	1.100	66	10.000
	27	1.800	66	10.000

keroseno requiere frecuente ajuste manual a la llama conforme la temperatura del aire del ambiente varía del día a la noche. Menos comunes que los refrigeradores de keroseno, los refrigeradores a propano tienen regulación de temperatura adecuada. En las localidades con suministro confiable

de combustible, puede no ser necesario reemplazar los refrigeradores a propano con refrigeradores a compresión.

La energía generada por el sol o por el viento en el lugar pueden alimentar refrigeradores del tipo de compresión y congeladores de hielo. El control de temperatura es mucho más exacto que con refrigeración a de absorción a keroseno. Muchos programas de Cadena de Frío usan la energía renovable para alimentar refrigeradores de compresión eficiente en localidades remotas donde el suministro de keroseno y propano es poco fiable o costoso. Debido a que más frecuentemente alimentan estos refrigeradores los sistemas FV, éstos se refieren como "refrigeradores FV" aunque puedan servirse de cualquier fuente eléctrica. Los refrigeradores del tipo de compresión eficiente pueden alimentarse por baterías de almacenamiento de 12 o 24 V (voltios) que se recargan en el lugar por paneles fotovoltaicos o por una pequeña turbina a viento. La principal ventaja es el mayor control de temperatura y la eliminación de la necesidad de suministro de combustible.

## Alumbrado

La electricidad ofrece una calidad de luz que no se compara con el gas o el keroseno. El alumbrado a keroseno es más común en comunidades no electrificadas. El keroseno tiene el peligro de inseguridad conocido y contribuye también a malear la calidad del aire interior. La luz eléctrica mejora enormemente los tratamientos de emergencia, nacimientos, atención de maternidad, cirugía, tareas administrativas y otras funciones médicas. La luz exterior hace a la Clínica de Salud más accesible por la noche. En las comunidades no electrificadas una Clínica de Salud con luz resulta un gran foco de la comunidad.

Cuando se está usando un sistema de energía renovable, la eficiencia de la energía es la clave de seguridad y accesibilidad. Un dólar gastado en la eficiencia generalmente puede ahorrar muchos dólares en los costos totales del sistema. La Tabla 1.1 muestra la energía consumida y la luz producida por luces incandescentes y fluorescentes, comparadas con las velas y el keroseno. Es fácil ver que la luz eléctrica es muy superior en términos de cantidad y calidad de luz. Las luces compactas fluorescentes dan cuatro veces la luz por vatio con-

sumido, cuando se compara con los focos incandescentes. Con una expectativa de vida de servicio de 10.000 horas, ellas duran diez veces más que los focos incandescentes.

## Comunicaciones

Las comunicaciones de radio y radio telefonía pueden mejorar considerablemente los servicios de atención médica en Centros de salud rurales. El tratamiento médico de emergencia se facilita mucho con comunicaciones fiables a otros Centros de salud e instalaciones en la región. Los doctores y las enfermeras a menudo deben cubrir numerosas comunidades en la región y tienen programadas días para visitar a cada comunidad. Los servicios de atención médica pueden mejorarse considerablemente mediante comunicaciones con personal médico ambulante o servicios regionales. Las comunicaciones son también para las operaciones de rutina y las funciones de administración incluyendo la consecución de suministros, vigilancia y reporte de enfermedades e inmunización y asistencia con diagnóstico de enfermedad y procedimientos médicos.

Las comunicaciones de los centros de salud requieren muy poca energía eléctrica. El consumo de reserva de energía puede ser tan pequeña como dos vatios (W). El consumo de energía para transmisión y recepción son mayores, en el orden de 30 a 100 W, pero generalmente es por muy poco tiempo. Muchos Centros de salud rurales tienen comunica-

ciones regionales de dos maneras, vía radio VHF con electricidad proporcionada por un simple módulo FV de 30-W.

## Aplicaciones Médicas

Las aplicaciones médicas pequeñas que operan con electricidad AC de 120 voltios (V) pueden operarse con FV si se incorpora un

**Figura 1.5.** Un sistema de ER puede alimentar a una pequeña unidad de atención dental para proveer salud dental preventiva. La mayoría de las clínicas con acceso a servicio dental (si es que existe) sirve principalmente para la extracción de dientes.



**Figura 1.3.** Se usa una radio que funciona con energía fotovoltaica por el personal de salud en la Clínica El Pallar para solicitar asistencia técnica o logística y para informar de los riesgos significativos de la región.



**Figura 1.4.** Un pequeño microscopio de laboratorio requiere sólo un uso moderado de luz de 30 vatios. Es el Equipo esencial para el diagnóstico en el campo.

inversor dentro del sistema. Los centros de salud pueden hacer uso de un microscopio, un nebulizador, una centrifugadora, equipo dental y otras aplicaciones médicas.



## Esterilización

La esterilización requiere temperaturas algo altas, aproximadamente 120°C (250°F). Aunque los sistemas fotovoltaicos son capaces de alimentar autoclaves eléctricos con el uso de un inversor, el consumo de energía es alto y económicamente nada práctico. Generalmente más apropiado es esterilizar con energía térmica en lugar de eléctrica. Estas temperaturas pueden producirse por sistemas colectores térmicos solares a menor costo, especialmente en áreas con buena insolación.

## Tratamiento del Agua

Tal vez uno de los problemas más comunes y serios de salud en los países menos desarrollados es el agua potable limpia ya accesible. La OMS estima que la contaminación de agua potable es responsable de 50.000 muertes diariamente.<sup>5</sup> La OMS también estima que el 80% de las enfermedades en todo el mundo se transmiten por el agua contaminada. La contaminación del agua puede ser por partículas, microbiológica, química o parasitaria.

Los medios comunes de desinfección química incluyen el cloro y el yodo, los que producen un gusto y olor característicos. La mayor ventaja de

usar cloro es el efecto residual que mantiene a través del sistema de distribución. Un 2% de tintura de yodo puede purificar pequeñas cantidades de agua del contenido bacterial

Hay varios medios no eléctricos de bajo costo de tratamiento del agua para hacerla segura para el consumo humano.

Hay muchas maneras de tratamiento sofisticado que generan grandes volúmenes de agua potable y son efectivos para una amplia variedad de tipos de contaminación. Estos procesos requieren electricidad que pueden producirse en el lugar con energía solar y eólica. Ellos incluyen el tratamiento de ozono, ósmosis reversa, fotoquímica, también conocida como ultravioleta o UV, desinfección y filtros de carbón. Algunos procesos

utilizan una combinación de estos tratamientos. Hay también varias tecnologías que proporcionan para la producción en el lugar de desinfectantes tales como hipoclorito de sodio de una solución de agua y sal.

El ozono es una forma altamente activada de oxígeno, a menudo usada en combinación con filtros de carbón activado para desinfectar los suministros de agua. No añade ningún gusto ni olor al agua. No ofrece ninguna desinfección residual con el tiempo. El tratamiento con ozono requiere poca energía eléctrica. El proceso es muy adecuado para energía generada con el sol o el viento ya que se requiere solamente 0.3 W-hora (Wh) por litro.

El carbón activado puede eliminar el cloroformo, químicos industriales y metales pesado del agua. El filtro debe reemplazarse periódicamente para prevenir la contaminación bacterial.

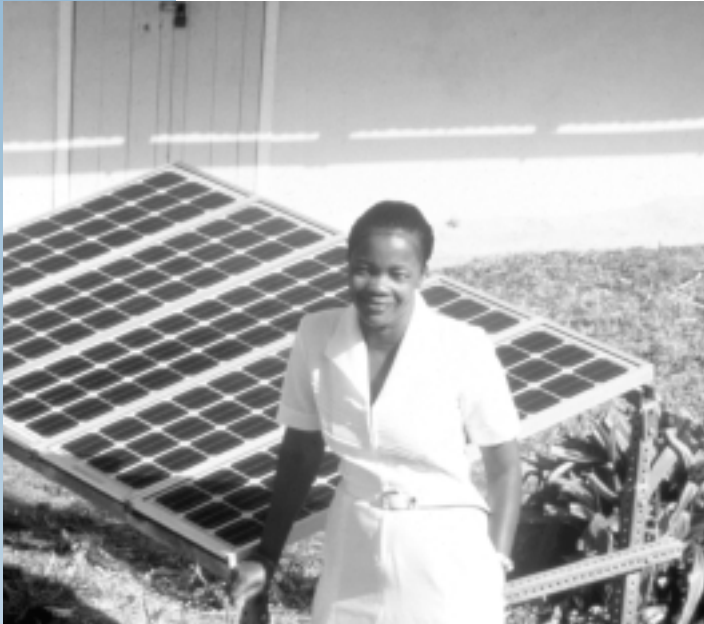
La desinfección por UV requiere sólo una pequeña cantidad de energía eléctrica (0.2 Wh por litro) y es efectiva para matar micro organismos. Todavía los organismos tales como la Giardia son inmunes a la radiación UV.

## Suministro de Agua

El agua superficial de fuentes tales como lagos y corrientes son más propensa a la contaminación. Los pozos poco profundos excavados manualmente trabajan mejor si se les forra, cubre o se les proporciona un drenaje adecuado en el lugar. Estos pozos poco profundos deberán equiparse con medios de bombeo del agua para no introducir contaminantes de los recipientes para extraer el agua. Los pozos profundos generalmente proporcionan agua de mejor calidad, pero requieren una fuente de energía para bombear volúmenes significativos. Las necesidades de energía aumentan con el volumen de agua requerido y la profundidad de la que debe bombearse. La energía solar o eólica (o ambas) generadas en el lugar pueden satisfacer económicamente las amplias necesidades entre bombas manuales y bombas movidas por grandes motores generadores.

El consumo humano: 5-10 litro por día

Higiene personal: 20-50 litros por día por persona que necesita para lavar utensilios, alimentos, ropas y el baño



Steve McCamey/PIX06502

**Figura 1.6.** Las comunidades no electrificadas tienen dificultad en mantener el entrenamiento del personal médico en los centros de salud. Las amenidades del modesto estilo de vida, tales como el alumbrado, la música y las emisoras de radio son importantes para la retención del personal en los centros de salud.

## Generación de Ingresos

La atención médica en países subdesarrollados es un servicio social que a menudo está sub financiado. Los centros de salud rurales carecen de fondos de operación para suministros y mantenimiento de equipo.

Los proyectos pilotos en los centros de salud rurales en varios países han probado éxito en la generación de ingresos de operación con el uso de sistemas de energía renovable. Los servicios de cargado de baterías y teatro de video alimentado con electricidad solar han generado significativos fondos dentro de las comunidades para costear parcialmente los gastos de operación de los centros de salud rurales. El Caso de Estudio # 4 describe cuatro tales comunidades en Colombia, Sudamérica (ver Página 34).

## Centro de la Comunidad

Los centros de salud pueden ser las únicas edificaciones electrificadas en un determinado pueblo. Estando bien iluminada resulta un centro atractivo fuera de las horas de actividad donde existen clases de educación nocturna y uso como centro comunitario. Tomando en cuenta esto, el diseño del sistema debe incluir en su diseño su uso como sistema comunitario lo cual incrementara el interés de desarrollar el proyecto por parte de la comunidad.



Jan Baring-Gould, NREL/PIX06503

**Figura 1.7.** Una turbina a viento suministra electricidad a una Clínica de Salud (no visible) y las aldeas vecina de Villa Las Araucarias, Chile

**Tabla 1.2. Consumo de Potencia y Energía para Aplicaciones Médicas**

	Potencia (vatios)	periodo (horas/día)	Energía/día (vatios-horas)
Refrigerador de vacunas	60	5-10	300-600
Refrigerador/congelador de vacunas	60	6-12	410-720
Luces (c/u)	20	2-12	40-240
<b>Comunicaciones radio VHF</b>			
Stand by	2	12	24
Transmisión	30	1	30
Microscopio	15	1.0	30
Nebulizador centrífugo	150	0.3-2.0	50-300
Vaporizador	40	1.0-4.0	40-160
Concentrador de oxígeno	300	1.0-4.0	300-1200
Ventilador de techo	40	4-12	160-480
Bomba de agua (1500 litros/día a 40 metros)	100	6	600
<b>TV</b>			
12" Blanco y negro	15	1.0-4.0	15-60
19" Color	60	1.0-4.0	60-240
25" Color	130	1.0-4.0	130-520
VCR	30	1.0-4.0	30-120
AM/FM estéreo	15	1.0-12	15-180
Esterilizador eléctrico*	1500	0.5-2.0	750-3000

\* La esterilización térmica deberá usarse sólo si el sistema de energía eléctrica cubre los requerimientos de alta potencia y energía de un esterilizador eléctrico.

## Mini Red La Pieza Central de una Villa

En algunas localidades donde se disponen de mayores recursos, se puede instalar un sistema mayor que se puede usar para electrificar otras viviendas cercanas adicionalmente a la Clínica de Salud local.





Ken Olson, SEI/PIX06488

**Figura 1.8.** Líderes de la Comunidad Indígena de Paez inauguran un sistema de alumbrado fotovoltaico en Mosoco, una comunidad de la región de Tierradentro del sur de Colombia.

## Alumbrado de la Comunidad Tierradentro, Colombia

En octubre de 1992, se instaló un sistema de alumbrado solar en el Centro de Salud de la Comunidad en Mosoco, una comunidad de indios Paez en la rugosa región montañosa del sur de Colombia denominada Tierradentro. El centro de salud resultó el único edificio iluminado en la comunidad con excepción de la iglesia católica que tenía un pequeño generador a gasolina que funcionaba sólo por dos horas cada noche.

El sistema de alumbrado del centro de salud llegó a servir para muchos fines adicionales. Poco tiempo después de la instalación, la comunidad de Paez usó el centro para traducir la constitución Nacional de Colombia a su lengua nativa. También se llevaron a cabo clases de alfabetización para adultos y educación agrícola bajo la iluminación de una luz de generación FV durante la noche. La utilidad del sistema de alumbrado no se detuvo allí sin embargo.

En junio de 1995, la región de Tierradentro experimentó intensas lluvias y masivos terremotos que ocasionaron muchos deslizamientos. Tres comunidades se perdieron íntegramente bajo el torrente de barro y roca. Miles perdieron la vida y los sobrevivientes se quedaron sin vivienda. Todos los caminos de la región fueron bloqueados por los deslizamientos.

En la comunidad de Mosoco, sólo una construcción quedó en pie—el centro de salud. El sistema de alumbrado FV fue la única energía eléctrica disponible en toda la región. El Centro de Salud fue utilizado por la Cruz Roja, el Ejército Colombiano y otras organizaciones que proporcionaron servicios de seguridad a la gente de Tierradentro.

## Aplicaciones Térmicas Solares

Las tecnologías térmicas solares se usan para aplicaciones que requieren energía para calentar en lugar de electricidad. La energía solar térmica para calentar el aire o agua mediante una superficie oscura bajo un vidrio o un material transparente similar. Las temperaturas regularmente pueden alcanzar los 93°C a 177°C (200°F-35°F). El extremo superior de este rango de temperatura puede alcanzarse usando aisladores o reflectores o ambos. Las aplicaciones que hacen uso de energía térmica solar, incluyen el agua caliente, cocina y destilación de agua.

Pueden lograrse temperaturas más altas, en el orden de 204°C-316°C (400°F-600°F), concentrando la luz solar en un área pequeña. Las unidades de corriente de esterilización solar hacen uso de reflectores, tubos de vidrio al vacío, y superficies selectivas. Los reflectores aumentan el nivel de la luz solar dentro de la unidad. El tubo al vacío actúa como un frasco térmico para reducir pérdidas de calor por conducción. La superficie selectiva en el colector reduce la pérdida de calor causada por la radiación térmica.

### Calentamiento Solar del Agua

El agua se calienta fácilmente por el sol. Las maneras más simples son haciendo correr agua a lo largo de un tubo negro o colocando un tanque de agua afuera en un día de sol. La temperatura del agua resulta tibia a caliente dependiendo de la cantidad de sol, temperatura ambiental y el aislamiento alrededor del tanque de almacenamiento. Mayores temperaturas pueden lograrse cubriendo la superficie oscura con vidrio o un material transparente similar.

Para pasteurizar el agua pueden usarse colectores de placas planas. Estos colectores consisten de una placa oscura absorbente en una caja aislada cubierta por una hoja de vidrio templado. El agua circula a través del colector para calentarse y luego se bombea a un tanque de almacenamiento.

### Destilación Solar del Agua y Pasteurización

Las simples tecnologías térmicas solares, tales como destilación y pasteurización, son efectivas para el tratamiento de pequeñas cantidades de agua contaminada biológicamente. Estas son buenas alternativas para hervir el agua. Aunque el agua que hierve por cinco minutos o más mata las bacterias, a menudo se la pasa por alto debido a la inconveniencia, al uso de combustible y por el pequeño volumen producido.

El agua y la leche pueden pasteurizarse a 65°C (150°F) por 30 minutos o 71°C (161°F) por 15 segundos. La pasteurización desinfecta el agua contaminada biológicamente, matando los virus bacterias y protozoarios. Sin embargo no elimina la contaminación química.

La pasteurización solar puede lograrse colocando los recipientes de agua o leche en una cocina solar—una caja aislada cubierta con vidrio. Los reflectores aumentan la cantidad de luz solar directamente a la caja. Las temperaturas suficientes para pasteurizar se obtienen fácilmente de esta manera.

La destilación solar es un proceso donde el agua se calienta para formar vapor y luego se vuelve a condensar en agua. La destilación eliminará los contaminantes bacteriales, virales y químicos a partir de agua salobre haciéndolas potables. Un destilado solar parece similar a una cocina solar y puede producir cerca de 3-4 litro / día/m<sup>2</sup> de superficie absorbente



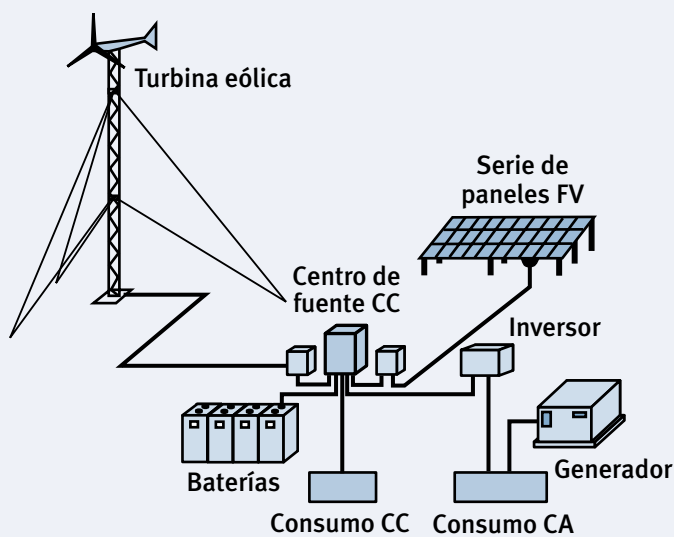
Simon Tsao/PIX01947

Figura 1.9. Mujeres chinas usan una cocina solar para calentar agua.

## CAPÍTULO 2: COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRICICO

### Introducción al Capítulo

Este capítulo hace una revisión de los principales componentes típicamente usados en los sistemas de energía renovable. También se discuten los generadores de máquinas a gasolina y diesel. Para cada tema la discusión incluye cómo trabaja, el uso adecuado, costos, tiempo de vida y sus limitaciones.



### Sistema híbrido Eolica/FV/Diesel

**Figura 2.1** Configuración del sistema híbrido: Generalización del sistema híbrido mostrando los componentes de generación de energía (fotovoltaicos, turbina eólica y generador), componentes de almacenamiento de energía (baterías), componentes de conversión de energía (inversores) y equilibrio de los componentes del sistema centro de fuente de corriente directa y controlador de carga. Cortesía de Bergey Wind Turbine Company.

## Visión General del Sistema

### Introducción

Un sistema híbrido comprende componentes que producen, almacenan y entregan electricidad a la aplicación. La figura 2.1. muestra un esquema para un sistema híbrido. No todos los sistemas muestran todos sus componentes. En general los paneles FV, pequeñas turbinas eólicas y las baterías son todos dispositivos a corriente continua (CC). Si se desea energía con corriente alterna (AC), la CC debe convertirse a AC. Los generadores usualmente producen energía AC, pero algunos modelos también producen energía CC. Los componentes para un sistema híbrido caen dentro de una de las cuatro categorías.

### Generación de Energía

Las turbinas eólicas y las máquinas utilizan generadores para convertir el movimiento mecánico en electricidad. Los paneles FV convierten la luz solar directamente en electricidad.

### Almacenamiento de energía

Estos dispositivos almacenan energía y la liberan cuando es necesario. El almacenamiento de energía a menudo mejora tanto la operación como la economía del sistema. El dispositivo de almacenamiento de energía más comúnmente usado en sistemas híbridos es la batería

### Conversión de energía

En los sistemas híbridos la conversión de energía se refiere a la conversión de electricidad AC a CC o viceversa. Para este fin puede utilizarse una variedad de equipos. Los inversores convierten CC a AC. Los rectificadores convierten AC a CC. Los inversores bi-direccionales combinan las funciones tanto de inversores como de rectificadores.

### Equilibrio del Sistema (EDS)

Los ítems EDS incluyen equipo de monitoreo, un balastro o resistencia (un dispositivo que elimina el exceso de energía producido por el sistema) y el tendido eléctrico y herrajes (hardware) necesarios para completar el sistema.

## Fotovoltaicos

### Introducción

Los paneles FV convierten directamente la luz solar en electricidad a CC. Los paneles FV no tienen partes móviles, son altamente seguros, de larga vida y requieren poco mantenimiento. Adicionalmente los paneles FV son altamente modulares. Fácil de ensamblar paneles FV en un "conjunto" que puede satisfacer cualquier magnitud de carga dada. La principal desventaja del FV es su alto costo de capital. A pesar de esto, especialmente para pequeños sistemas, el FV a menudo es una opción de costo-efectivo, con o sin otra fuente de energía, conforme se ahorra con el uso paga el costo inicial en pocos años.

### Construcción del Panel FV

Los paneles FV consisten de células individuales que se conectan juntas en serie y en paralelo para producir el voltaje y la corriente deseada. Las células generalmente están encapsuladas en un material protector transparente y típicamente alojadas en un bastidor de aluminio. Como se mencionó al principio, los paneles de FV son de larga duración con garantías que abarcan hasta 20 años.

### Características de funcionamiento

Los paneles FV están clasificados en vatios pico (Wp) o kilo vatios pico (kWp). Esta clasificación es una función tanto del tamaño como de la eficiencia del panel. Este esquema de clasificación también hace fácil comparar paneles y precios de diferentes distribuidores. Los paneles deberán compararse en términos de costo por Wp. Esta clasificación es la cantidad de energía que producirá el panel según las condiciones de referencias normales (1kW/m<sup>2</sup>; 20°C [68°F] temperatura del panel). Esta es a grosso modo la intensidad de la luz solar a mediodía en un día claro de verano. Así un panel clasificado en 50 Wp producirá 50 W cuando la insolación sobre el panel sea de 1kW/m<sup>2</sup>. Debido a que la producción de energía es ligeramente proporcional a la insolación, podría esperarse que el mismo panel que produzca 25 W cuando la insolación es de 500 W/m<sup>2</sup>.

La producción de energía de paneles puede estimarse multiplicando la energía clasificada del panel por la insolación del lugar en la superficie de paneles (normalmente 1400-2500 kW/m<sup>2</sup> por año; 4-7 kW/m<sup>2</sup> / día). El producto resultante entonces se corrige aproximadamente en un 10% a 20% para compensar las pérdidas causadas por factores tales como los efectos de la temperatura (los paneles producen menos energía a temperaturas más altas) y pérdidas por el tendido eléctrico.

### Operación del Panel

La mayoría de los paneles FV están diseñados para cargar bancos de baterías de 12 V. Los sistemas más grandes fuera de red pueden tener voltajes de barra de distribución CC de 24, 48, 120 o 240 V. Conectando el número apropiado de paneles en serie le permite cargar baterías a esos voltajes. Para aplicaciones sin cargado de baterías, tales como cuando el panel está directamente conectado a una bomba de agua, puede ser necesario un equipo que optimiza el punto de energía máximo (PEMT). Un PEMT puede imitar las características eléctricas de la carga de modo que el panel pueda suministrar potencia eficientemente.



**Figura 2.2** Un técnico fotovoltaico limpia dos paneles de 80 vatios que alimenta un refrigerador de vacuna solar en la comunidad de Mulukuku, Nicaragua.

## Montado del Panel y el Angulo de Inclinación

A fin de maximizar la producción de energía, los paneles FV necesitan montarse de modo que estén orientados hacia el sol. Para hacer esto los paneles son montados en bases fijas o deslizables. Debido a su bajo costo y simplicidad, las monturas fijas son las más comúnmente usadas. Este tipo de monturas pueden hacerse de madera o metal y pueden adquirirse o fabricarse casi en cualquier parte.

Las monturas deslizables (ya sea de eje doble o sencillo) incrementan la producción de energía de los paneles, particularmente en latitudes bajas, pero a un costo y complejidad mayor. La efectividad del costo relativo de las monturas deslizantes en relación a los paneles adicionales puede variar de proyecto a proyecto.

## Capital y Costo de Operación

Los paneles FV se disponen en una amplia variedad de categorías, hasta 100 Wp y se fabrican paneles de categoría tan alta como de 300 Wp. Los paneles FV pueden conectarse para formar conjuntos de cualquier tamaño. Los paneles pueden conectarse en serie para aumentar el voltaje del conjunto y en paralelo para aumentar la corriente del conjunto. Esta modularidad facilita empezar con un conjunto pequeño y agregar posteriormente mas paneles.

Los costos de un conjunto FV están afectados por el costo de los paneles. A pesar de la declinación de precios en las dos últimas décadas, los paneles FV continúan caros. Los precios al por menor se han nivelado en cerca de \$US. 5,500 por kWp. Para compra masiva los precios pueden ser menores a \$US. 4,000 por kWp. Las garantías generalmente son por 20 años. Los paneles modernos deben durar más de 20 años. El resto del costo del conjunto FV consiste de montura, tendido eléctrico e instalación. Este costo generalmente es de \$US. 1.000 a 1.500 por kWp.

Los paneles (no necesariamente el balance del sistema) casi no requieren costo de mantenimiento. En su mayoría requieren mantenerse limpios y las conexiones eléctricas necesitan revisarse periódicamente por la pérdida de contacto y la corrosión

## Generadores de Turbinas Eólicas

### Introducción

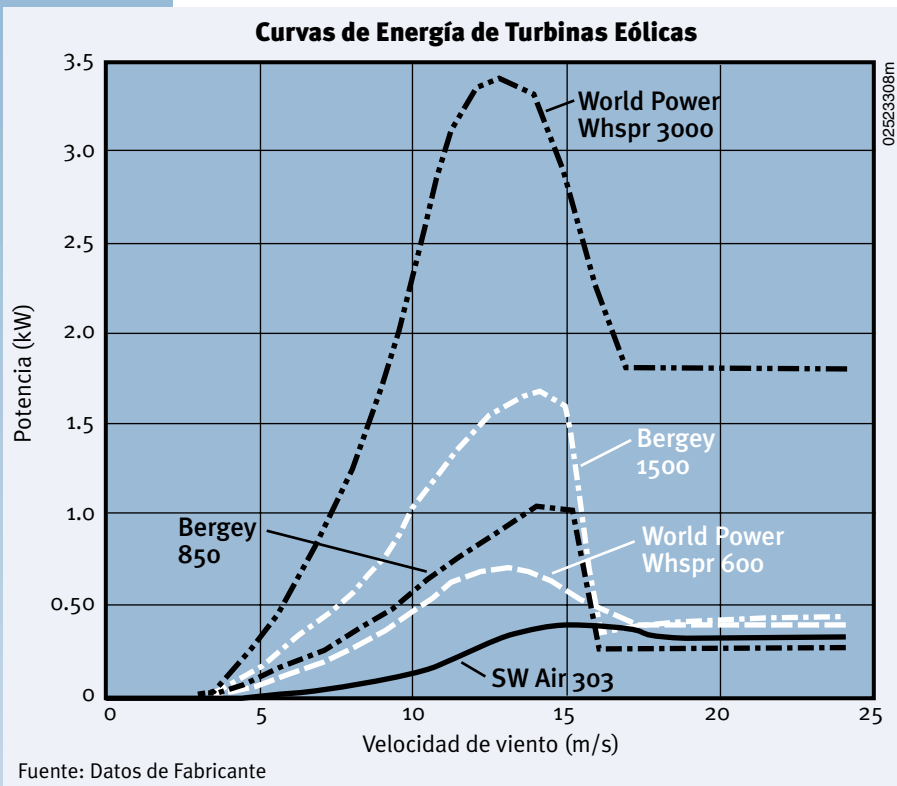
Las turbinas eólicas convierten la energía de movimiento del aire en energía mecánica o eléctrica útil. Las turbinas eólicas necesitan algo más de mantenimiento que los conjuntos FV pero con vientos moderados >4.5 metros por segundo (m/s), a menudo producirán más energía que su similar en precio de los conjuntos de paneles FV. Lo mismo que en los paneles, múltiples turbinas eólicas pueden usarse juntas para producir más energía. La producción de la turbina eólica tiende a ser altamente variable, por lo tanto las turbinas a viento a menudo están mejor combinada con paneles FV o con un generador para asegurar la producción de energía durante tiempos de poca velocidad de viento. Esta sección centrara la atención en pequeñas turbinas eólicas de 10 kW o menos

### Componentes de las Turbinas eólicas

Los componentes comunes a la mayoría de las turbinas eólicas se muestran en la figura de abajo. Las aspas captan la energía del viento. El eje conecta las aspas con el generador. En las turbinas eólicas pequeñas el eje generalmente mueve el generador directamente. Muchas turbinas eólicas pequeñas utilizan un alternador de imán permanente para un



Figura 2.3. Típicos componentes de una turbina eólica.



**Figura 2.4.** Curvas de Energía de Turbinas eólicas Selectas

generador. Estas producen frecuencias variables AC (descontrol) que los electrónicos de energía convierten en corriente CC. Los rodamientos de giro permiten rotar las turbinas eólicas para acomodarse en la dirección del viento cambiante. Las torres soportan las turbinas eólicas y las coloca sobre cualquier obstrucción.

### Características de Funcionamiento de la Turbina eólica

El funcionamiento de las turbinas eólicas está caracterizado por su curva de energía. Esto relaciona la producción de energía producida con la velocidad del viento a la altura del eje. Las curvas de energía para algunas máquinas se muestran en la Figura 2.4. Las turbinas necesitan una velocidad mínima de viento, conocida como "velocidad de corte-inicial" ("cut-in-speed") antes de empezar a producir energía. Para las turbinas pequeñas la velocidad de corte inicial generalmente varía de 3 a 4 m/s. Después de la velocidad de corte-inicial la turbina eólica incrementa la producción de energía

rápidamente con el aumento de la velocidad de viento. La producción de energía empieza a nivelarse conforme se acerca a su pico de energía el cual es su potencia nominal o de placa. La energía eólica del aire en movimiento es proporcional al cubo de la velocidad de viento. Así hasta que se alcance la velocidad de corte-final (cut-out) de seguridad las turbinas eólicas producen mucha más energía a velocidades de viento mayores que a velocidades menores. La mayoría de las turbinas pequeñas tienen su máxima producción de energía cuando la velocidad de viento se acerca a los 14-15 m/s. La turbina producirá su máxima energía hasta que la velocidad del viento alcance la velocidad de corte-final. Las velocidades de corte-final generalmente varían de 14 a 18 m/s. El corte-final ocurre para proteger la turbina de sobre rotación en vientos fuertes. La

mayoría de las turbinas pequeñas realizan el corte-final mediante una inclinación pasiva (plegable) de la navecilla y el rotor fuera del viento. Después del corte-final la producción de energía de la turbina eólica generalmente no decrece a cero, sino se mantiene del 30 al 70% de la energía nominal.

Las turbinas eólicas están clasificadas por su producción de energía a una velocidad de viento específica, Ej. 10 kW a 12 m/s. Generalmente este registro está en o cerca de la producción de energía máxima de la turbina eólica. La velocidad del viento a la que se clasifica la turbina se elige arbitrariamente por el fabricante.

La naturaleza no lineal de la curva de energía de la turbina eólica hace la predicción de funcionamiento de energía a largo plazo más difícil que para los sistemas FVs. Para la predicción a largo plazo, uno necesita la distribución de la velocidad del viento en lugar de sólo el promedio de la velocidad del viento. El funcionamiento a largo plazo puede entonces calcularse integrando la

curva de energía del viento en relación a la distribución de la velocidad del viento. El funcionamiento de la turbina eólica también puede depender de las aplicaciones para las que se usa.

### Los Costos de las Turbinas eólicas

Los precios de las turbinas eólicas varían más que los precios para los paneles FV. Las turbinas de tamaño similar pueden diferir significativamente en precio. Esto generalmente causa la amplia variación de precios entre los diferentes fabricantes de turbinas y de la enorme variación de los costos de la torre basados en la altura y diseño. Los costos instalados generalmente varían de \$US 2.000 a \$US 6.000 por kW clasificado. A diferencia del caso para FV, las turbinas eólicas ofrecen economías de escala, con turbinas eólicas más grandes que cuesta menos por kW que las pequeñas turbinas eólicas.

El costo de mantenimiento para las turbinas eólicas es variable. La mayoría de las turbinas eólicas pequeñas requieren algún mantenimiento preventivo, en su mayoría en forma de inspecciones periódicas. La mayoría de los gastos de mantenimiento probablemente se deban a las reparaciones no programadas (p.e. fracturas y corrosión) Giupef demanda una cifra de consenso del 2% del costo total del sistema anualmente.

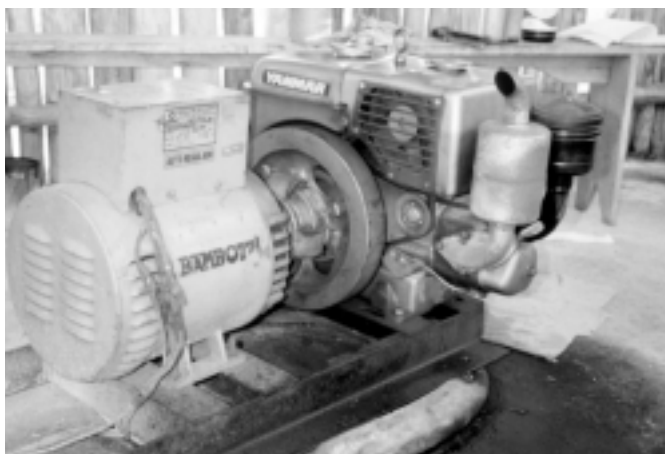
## Generadores Diesel

### Introducción

Los generadores consisten de una máquina que mueve un generador eléctrico. Los generadores funcionan con una variedad de combustibles, que incluyen diesel, gasolina, propano y bio-combustible. Los generadores tienen la ventaja de suministrar energía sobre la demanda sin necesidad de baterías. Comparadas con las turbinas eólicas y los paneles FV, los generadores que funcionan con combustibles fósiles tienen bajos costos de capital, pero altos costos de operación.

### Costo y Rendimiento

Los generadores a diesel son el tipo más común. Se disponen en tamaños que varían de menos de 2.5 kW a más de 1 megavatio (MW). Comparado con los generadores de gasolina, los generadores de diesel son más caros, tienen vida más larga, más baratos de mantener y de menor consumo de combustible. Los costos típicos para generadores a diesel pequeños (hasta 10 kW) son de \$US. 800 a \$US 1.000 por kW. Los diesels más grandes muestran mayor economía de escala, cuestan aproximadamente \$US. 7.000 a \$US. 9.000 para un equipo de 10 kW, pero un tamaño más grande tiene un costo adicional  $\approx$  \$US. 150 por kW. La vida normal de los diesels están en el orden de las 25.000 horas de operación.<sup>7</sup> El costo del mantenimiento general puede estimarse que sean del 100% al 150% del costo del capital sobre estas 25.000 horas de vida. El mantenimiento incluye el trabajo del operador y las revisiones periódicas. Los diesels más grandes generalmente se reparan en lugar de reemplazar. La eficiencia del combustible del generador diesel generalmente es de 2.5 a 3.0 kWh/litro cuando funciona a alta carga. La eficiencia cae abruptamente en carga baja. Es esta poca eficiencia a baja carga que es la ruina de muchos sistemas de sólo generadores. Los generadores deben ser dimensionados para cubrir el pico de carga, pero entonces a menudo funcionan a baja carga buena parte del tiempo.



Ken Olson, SEI/PIX06495

**Figura 2.5.** Un generador diesel es generalmente la típica fuente de energía en pequeños hospitales rurales. Las clínicas más pequeñas pueden confiar en los generadores más pequeños a gasolina solamente para usos de emergencias.

Menos comunes que los generadores diesel los generadores a gasolina cuestan menos y son disponibles en tamaños muy pequeños (tan bajos como pocos cientos de vatios). Por el contrario los generadores a gasolina son inferiores en muchos aspectos a sus contrapartes a diesel. Para tamaños mayores a 1kW, los precios varían de \$US 400 a \$US 600 por kW. El precio mínimo es ligeramente \$US 400 sin considerar el tamaño. El tiempo de vida es corto, generalmente 1.000 a 2.000 horas de operación. La eficiencia del combustible es mala, siendo su pico aproximadamente a 2.0 kWh/litro. La eficiencia de combustible con carga parcial es peor que para los generadores diesel. Los generadores a gasolina son los más usados cuando las cargas son muy pequeñas o las horas de funcionamiento totales no son más de 400-600 horas por año, aproximadamente.

Dada la discusión anterior, surgen varios puntos considerando el óptimo uso de generadores. Para una economía máxima de combustible los generadores deberán funcionar con carga alta (>60%). Por el contrario, debe evitarse la operación con carga baja. No solamente hace que disminuya la eficiencia del combustible, sino que es evidente que la operación a baja carga ocasiona mayores costos de mantenimiento.

## Baterías

### Introducción

Las baterías son dispositivos electroquímicos que almacenan energía en forma química. Se usan



**Figura 2.6.** Un banco de baterías de plomo de ciclo profundo para operar un refrigerador de vacunas 24 horas al día. Los paneles fotovoltaicos o el generador de viento puede recargar las baterías.

para almacenar el exceso de energía para uso posterior. El tipo más común de batería es el de plomo (plomo-ácido). Un segundo tipo muy distante es el tipo níquel-cadmio. El resto de esta sección discute la batería de plomo.

## Consideraciones en la Selección de Baterías

### Ciclo profundo versus ciclo no profundo

Mientras las baterías están dimensionadas de acuerdo a la cantidad de energía que puedan acumular, en la mayoría de los casos una batería de plomo no puede descargarse totalmente hasta un estado de cero sin sufrir un daño en el proceso. Para aplicaciones remotas de energía, generalmente se recomiendan las baterías de ciclo profundo. Están diseñadas para descargarse hasta un 20-50% del estado de carga. Las baterías de ciclo no profundo, tales como las baterías de carros generalmente no se recomiendan, aunque ellas se usan en pequeños sistemas FV debido a la falta de cualquier alternativa. Estas se pueden descargar prudentemente sólo hasta un 80-90% de su estado de carga y a menudo se destruirán por una descarga más profunda.

### Las Inundadas vs. las de Válvula Regulada

Las baterías inundadas tienen sus placas sumergidas en un líquido electrolito y requieren un llenado periódico. Por el contrario en baterías de válvula regulada, el electrolito está en forma de pasta o contenido dentro de fibra de vidrio. Las baterías de válvula regulada no necesitan rellenarse. Las baterías inundadas generalmente tienen un costo de capital menor que las baterías de válvula regulada, pueden soportar condiciones de operación más extremas y con un mantenimiento apropiado tienden a durar más tiempo. Por el otro lado cuando el mantenimiento es difícil, las baterías de válvula regulada pueden ser la mejor opción.

### Tiempo de Vida

El tiempo de vida de las baterías se mide tanto en términos de flujo de energía acumulativa a través de la batería (ciclo completo) como por la vida flotante. Una batería muere cuando alcanza cualquier límite. Un ciclo completo es el equivalente de una descarga y recarga completa. Por ejemplo, descargando dos veces una batería al 50% es un ciclo. Para muchas baterías, siempre que el



estado de carga de la batería se mantenga dentro de los límites de las recomendaciones del fabricante, el número de ciclos es casi independiente de como es el ciclo de la batería. Dependiendo de la marca y del modelo el tiempo de vida de la batería varía enormemente, en un rango de menos de 100 ciclos completos hasta más de 1500 ciclos completos. La vida flotante se refiere a cuanto tiempo durará una batería que está conectada a un sistema, incluso si nunca se usa o si se usa ligeramente. Generalmente la vida flotante para baterías de ácido-plomo de buena calidad varían entre 3 a 8 años a 20°C (68°F). Nótese que las temperaturas ambiente altas pueden disminuir severamente la vida flotante de las baterías. Una regla empírica es que cada aumento de 10°C (18°F) en la temperatura ambiente rebajará a la mitad la vida flotante de la batería.

### Costos

La capacidad de almacenamiento de una batería comúnmente se da en amperios horas a un determinado ritmo de descarga. Cuando se multiplica por el voltaje nominal de la batería (generalmente 2, 6 o 12V), esto da la capacidad de almacenaje de la batería en kWh. Esta capacidad de almacenamiento no es una cantidad fija, por el contrario varía algo dependiendo de la velocidad a la que se descarga la batería. Una batería proporcionará más energía si se descarga despacio que si se descarga rápidamente. Para facilitar una comparación uniforme, la mayoría de los fabricantes dan el almacenamiento para un tiempo de descarga dado, generalmente 20 o 100 horas.

Las baterías individuales que se usan en ER y sistemas híbridos se disponen en capacidades que varían de 50 amperios horas a 12 voltios hasta miles de amperios hora a 2V (0.5 kWh a varios kWh).

La variación en la vida flotante o de ciclo, descrita anteriormente, hace comparaciones de costo-efectividad de diferentes baterías algo problemáticas. Como un punto de partida general, los costos son del orden de \$US 70-100 por kWh de almacenamiento para baterías con tiempos de vida de 250 a 500 ciclos y flotantes de vida en un rango de 3 a 8 años. Habrá un costo adicional de una sola vez para un cobertizo, soporte y tendido eléctrico.

## Inversores

### Introducción

Los inversores convierten la energía CC a AC. Este dispositivo es necesario debido a que los paneles, baterías y la mayoría de las pequeñas turbinas eólicas producen energía CC. La mayoría de las aplicaciones y dispositivos corrientes requieren energía AC.

### Tipos de Inversores

Los inversores caen dentro de las tres clases, onda cuadrada, onda sinusoidal modificada y onda sinusoidal.

Los inversores de onda cuadrada son los más baratos. Lamentablemente, los inversores de onda cuadrada son solamente adecuados para cargas resistivas, tales como calentadores de resistencia.

Los inversores de onda sinusoidal modificada producen una onda cuadrada de escalera que se acerca estrechamente a la onda sinusoidal. Este tipo de inversor es el más común. La mayoría de los dispositivos electrónicos AC y motores funcionarán en onda de sinusoidal modificada. Alguna electrónica sensitiva, tales como computadoras y equipos estéreos no pueden trabajar con AC de onda de sinusoidal modificada y requieren inversores de onda de sinusoidal. Estos inversores pueden producir energía que no se puede distinguir de la que sale de la toma, pero cuestan más que los otros tipos de inversores.

Para aplicaciones fuera de red el inversor debe tener la capacidad de funcionar independientemente, por ejemplo, el inversor no necesita estar conectado a la red para regular el voltaje y la frecuencia. Es preferible la eficiencia de conversión alta, especialmente en la parte de la carga. Si el sistema incluye un generador, la capacidad en paralelo permite que el inversor opere simultáneamente con el generador.

### Costo del Inversor

Los inversores generalmente se dimensionan de acuerdo a su producción de energía continua máxima. La mayoría de los inversores, sin embargo, son capaces de manejar energía adicional a su tamaño pero únicamente por cortos períodos de tiempo. Esta capacidad de pico es útil para satis-

hacer las ocasionales subidas de carga tales como cuando arranca un motor.

Los costos del inversor son aproximadamente \$US 600 a \$US 1.000 por kW para inversores de buena calidad de onda de sinusoidal modificada. La tecnología para inversores mayores de 5 kW no está tan madura como para inversores más pequeños y los costos pueden ser algo mayores.

## Controladores/Medidores/Equilibrio de Sistemas

### Introducción

Los controladores y los medidores actúan como el cerebro y el sistema nervioso de un sistema FV o híbrido. Los controladores dirigen la energía a todos los componentes del sistema para la carga. La medición permite al usuario evaluar la salud del sistema y el funcionamiento. En muchos casos las diferentes funciones de control y medida de un sistema se distribuirán entre los diferentes componentes. La complejidad de los controles depende del tamaño y la complejidad del sistema y de las preferencias para con el cliente. Los controladores han tenido problemas con su confiabilidad y contra rayos. Es importante realizar un cuidadoso diseño del controlador e instalar el equipo con protección contra tormentas eléctricas.

### Propósitos y Funciones

- Desconexión de voltaje alto/bajo de la batería: La desconexión del alto voltaje protege la batería del sobrecargado. Una desconexión del bajo voltaje protege la batería de sobredescarga. Estas son las funciones críticas que se incluirán en todos los sistemas con baterías

- Cargado de la batería: Un controlador con un algoritmo de carga de batería apropiada puede hacer mucho para aumentar la vida de la batería.
- Corriente de la barra colectora AC y CC y el monitoreo del voltaje: El monitoreo de la corriente y el voltaje en las barras colectoras CC y AC permite al usuario comprobar que los sistemas y componentes están operando adecuadamente.
- El encendido y apagado de los componentes: el controlador puede programarse para encender y apagar los componentes conforme se necesite sin la intervención del usuario.
- Desvío de energía a un balastro: El propósito del balastro es eliminar el exceso de energía. Los balastros pueden necesitarse si el sistema contiene turbinas eólicas, micro hidro o generadores. Un balastro es esencialmente una o más resistencias que disipan la electricidad convirtiéndola en calor. Los balastros disponibles son tanto para agua como aire frío. Los balastros algunas veces se usan para controlar la frecuencia de producción de AC en un sistema.
- Equilibrio del Sistema (EDS): El EDS incluye los ítems adicionales tales como el tendido eléctrico, conductor y fusibles que son necesarios para completar el sistema.
- La Utilización del Centro de Fuente de CC: Varios fabricantes ahora ofrecen centros de fuente CC. Estos combinan mucho del tendido eléctrico, fusibles y controladores del sistema en un tablero que es más fácil de instalar. El uso de centros de fuente deberá considerarse especialmente para sistemas en áreas remotas, de difícil acceso para la asistencia técnica.

## CAPÍTULO 3: SISTEMA DE SELECCIÓN Y ECONOMÍA

### Introducción

La primera sección de este capítulo describe el análisis del costo del ciclo de vida y explica cómo y por qué deberá usarse en el análisis económico de varias opciones. La segunda parte de este capítulo discute los diferentes factores que influyen en el diseño del sistema, carga, fuente disponible, costos de los componentes y nivel de servicio deseado por esas opciones. Incluyen además gráficos que muestran cómo los costos del sistema típico varían como una función de carga y fuente.

### Análisis de Costos del Ciclo de Vida

#### ¿Por qué usar el análisis de costo del Ciclo de Vida?

Un error común cuando se realiza un simple análisis económico se basa en el análisis de los costos iniciales y periodos cortos de tiempo. Debido a que el costo total del proyecto es la suma total de sus costos iniciales y de sus costos futuros, es más adecuado el análisis de los costos del ciclo de vida (CCV). Los costos iniciales se han realizado al principio del proyecto, estos generalmente incluyen los gastos de la compra e instalación del equipo. Los costos futuros se han efectuado después en el curso del tiempo de vida del proyecto que incluyen los costos de mantenimiento y operación, tales como personal, combustible y equipo de reemplazo.

Las opciones del sistema pueden tener diferentes combinaciones de costos iniciales y futuros, haciendo comparaciones consistentes entre las opciones más dificultosas. Este tema es particularmente pertinente a la electrificación de la Clínica de Salud. Las opciones de ER tienden a tener altos costos iniciales y bajos costos de operación. Los generadores que utilizan combustibles fósiles tienen bajo costo inicial pero altos costos de operación. La elección de opciones basada solamente en los costos iniciales puede llevar a costos

generales más altos durante el tiempo de vida del sistema.

El CCV es el método preferido para la evaluación de la economía de diferentes proyectos que diferencian costos iniciales y futuros. El CCV involucra el cálculo del costo total de una opción sumando los costos anuales descontados de ese proyecto durante su tiempo de vida. Cualquier libro de texto de economía proporcionará mayores detalles de cómo hacer un análisis de CCV. Los resultados de CCV y la mayoría de otros análisis son sensibles al ingreso de datos; así los análisis paramétricos deberán hacerse en un rango plausible de valores ingresados.

El CCV implícitamente asume que las opciones que se comparan proporcionan niveles comparables de servicio. Si el servicio ofrecido no es el mismo, esta diferencia deberá ser aclarar en el proceso de selección como una opción.

### Costos de Operación

Algunos proyectos de ER fallan o incurren en costos de operación más altos de lo esperado causados por la instalación inadecuada y falta de operador entrenado. Deberán asignarse fondos suficientes del proyecto para asegurar el entrenamiento adecuado de instaladores y operadores.

El costo de servicio de sistemas simples en comunidades dispersas puede también contribuir a los altos costos de operación. El costo de servicio de los sistemas de ER pueden reducirse enormemente si el sistema puede mantenerse localmente y los costos de servicio se comparten con otras aplicaciones en la comunidad.

### Subsidios de Combustible

En muchos países los costos de combustible son artificialmente bajos debido a los subsidios gubernamentales. Para captar el total de los ahorros potenciales de los costos de operación ofrecidos por la ER el análisis económico de cualquier proyecto donde el gobierno podría pagar el combustible se usará el costo del combustible sin subsidio. Aunque los análisis económicos de los sistemas privados usen el costo del combustible subsidiado, deberá considerársela probabilidad y los efectos de la eliminación de los subsidios del combustible algún tiempo durante la vida del proyecto.

## Generación del Ingreso

Los sistemas de ER a menudo producen energía en exceso que puede usarse para generar un ingreso en la comunidad. Por ejemplo un proyecto piloto en Colombia, Sudamérica, ha demostrado que las comunidades pueden utilizar sistemas de energía renovable para generar ingreso para compensar los gastos de operación de las turbinas eólicas. Referirse al caso de Estudio # 4 en el Capítulo 5, Este ingreso puede explicarse en el análisis de CCV.

## Consideraciones del Diseño y Economía

Esta sección describe los factores que afectan la configuración y costos del sistema. Las principales consideraciones de la selección del sistema de conducción son la carga, recurso, costos (componente, combustible y operación) y calidad de servicio.

### Carga

La carga es el mayor conductor del diseño del sistema híbrido. Un diseñador necesita conocer la carga pico, la carga promedio, la distribución anual y diaria de la carga y la calidad del servicio necesario. Los componentes del sistema, especialmente el tendido y los electrónicos de potencia deben dimensionarse de modo que el sistema pueda entregar el pico de carga. El promedio de la carga conducirá al tamaño de los componentes de producción de energía y puede también influenciar en la selección de los componentes. Los sistemas FV son más competitivos al satisfacer cargas muy pequeñas tales como la Clínica de Salud más pequeña descrita en esta Guía. Las turbinas eólicas y generadores fósiles resultan más competitivos con cargas algo mayores que se encuentran en clínicas más grandes. Deben considerarse las variaciones de carga diarias y estacionales y pueden influenciar la selección de los componentes. Las cargas del verano y las diurnas favorecen al FV. Las cargas de invierno son más apropiada para generadores fósiles y si el invierno es ventoso las turbinas eólicas son una buena opción. Si los recursos eólicos y solares fueran estacionalmente complementarios (por ejemplo, el recurso del viento es bueno durante la estación de baja insolación) entonces un sistema híbrido FV-viento puede ser más apropiado.

Las últimas consideraciones importantes relacionadas con la carga es la calidad del servicio deseado. La calidad del servicio se refiere a la capacidad de los sistemas a satisfacer la carga dadas las variabilidades en las fuentes solares y eólicas. Para un sistema de 100% de ER el costo puede ser excesivo si se necesita muy alta calidad de servicio. Si los componentes del sistema, especialmente el banco de baterías, están dimensionados para el caso más adverso posible, el sistema deberá sobredimensionarse a todos los otros ítems.

Un ejemplo de carga crítica que necesita energía confiable es el refrigerador de vacunas. Un día o menos sin energía es suficiente para arruinar una partida de vacunas. Otras cargas son menos críticas. Las luces, TVs y bombas de agua son cargas que pueden usarse menos durante periodos o reducirse la disponibilidad de la energía. Incluso el refrigerador de vacunas es susceptible a manejar carga limitada. Absteniéndose de congelar los bloques de hielo pueden reducir significativamente el consumo de energía de un refrigerador. A menudo una Clínica de Salud puede tener una combinación de cargas críticas y menos críticas. En este caso con el manejo de carga adecuado el sistema puede diseñarse para que sea algo menos robusto de lo que podría necesitarse si todas las cargas fueran críticas. Durante los tiempos de bajos recursos, las cargas menos críticas se apagan.

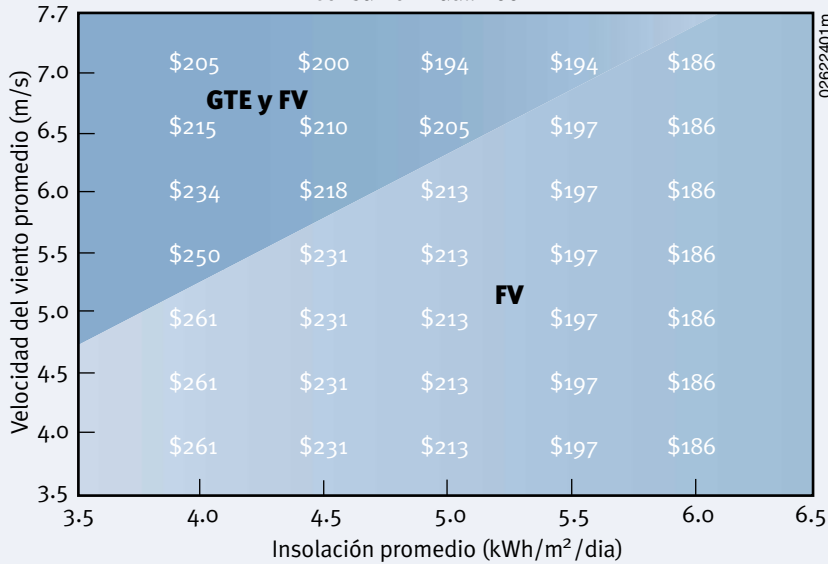
Incluso con los costos extra asociados con altos niveles de servicio, el 100% de los sistemas de ER son a menudo todavía la solución de costo más efectivo para satisfacer la demanda de cargas pequeñas de clínicas y Centros de salud. Un requerimiento de menor calidad de servicio puede mejorar la economía de la ER en general y de las turbinas eólicas en particular.

### Recursos

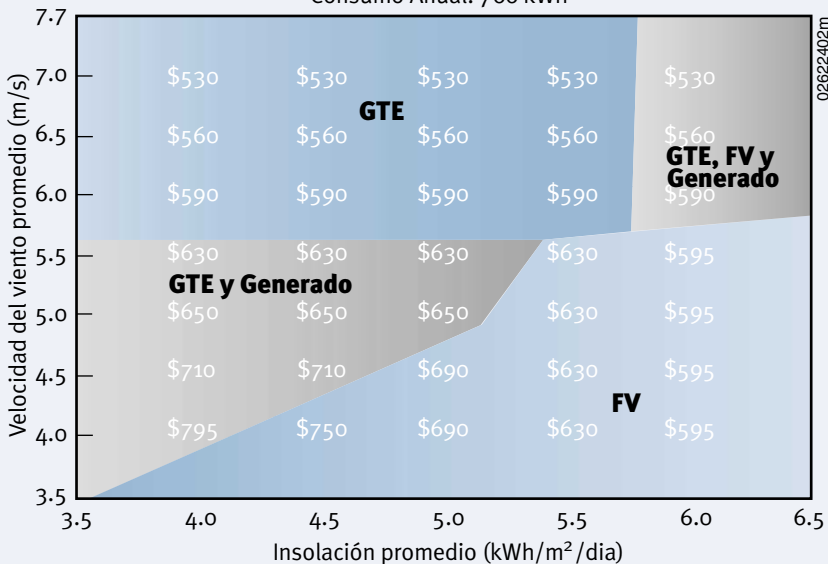
La disponibilidad de los recursos solares y eólicos influyen enormemente ya sea la configuración o el costo de un sistema híbrido. Un buen recurso de viento favorecerá el uso de turbinas eólicas, mientras que una buena fuente solar favorecerá el uso de FV. Otra consideración es la variabilidad del recurso tanto diariamente como estacionalmente. El periodo de tiempo de importancia puede depender de la configuración del sistema, debe interesarse más en el recurso promedio mensual y

**Costo Anualizado de Energía de la Posta Sanitaria**

Consumo Anual: 266 kWh

**Costo Anualizado de Energía del Centro de Salud**

Consumo Anual: 766 kWh

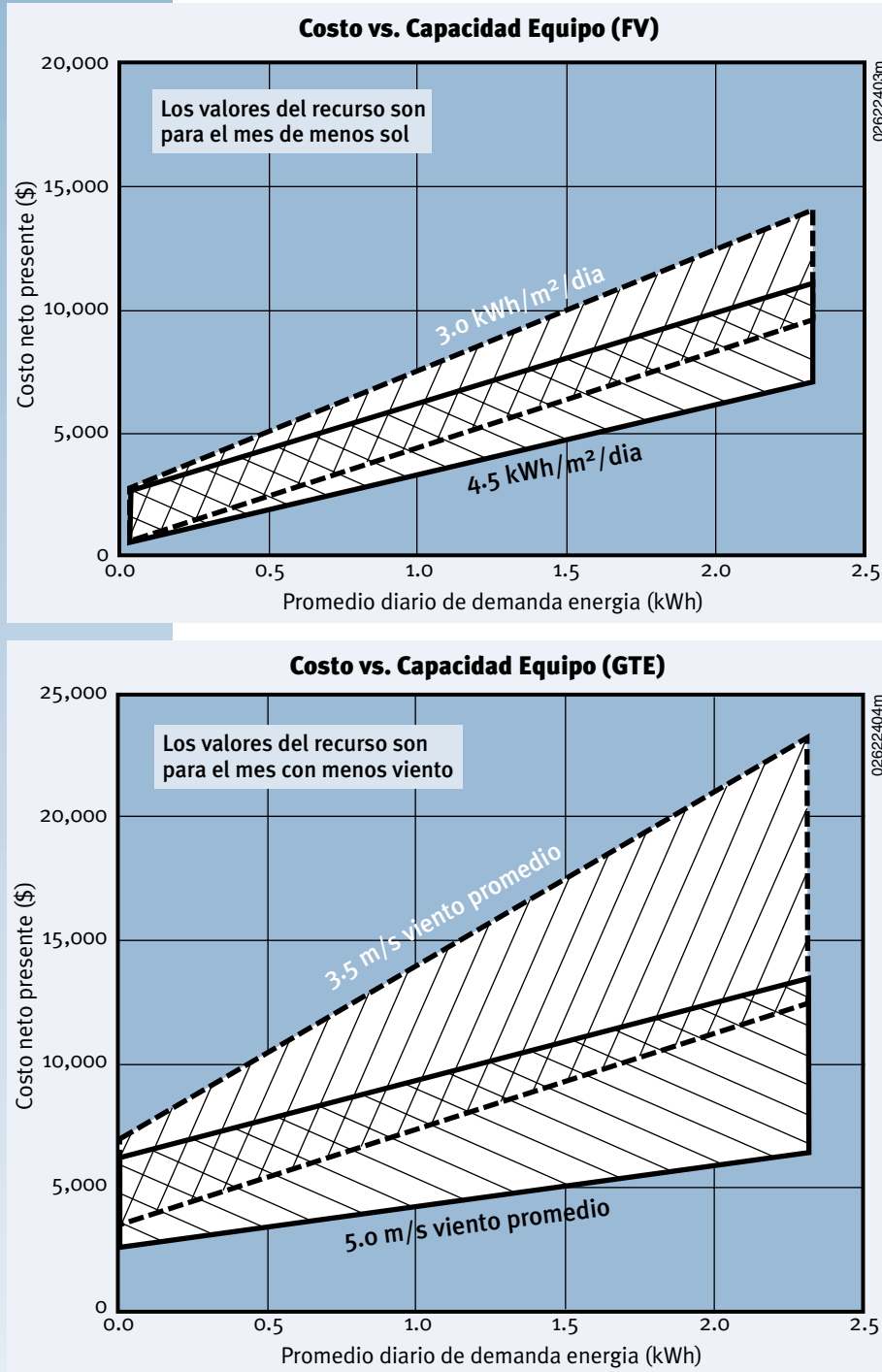


**Figura 3.1.** Estos gráficos muestran las configuraciones de bajo costo para dos servicios de salud de diferentes tamaños como una función del promedio de la velocidad del viento y el promedio de insolación. Los costos dados son los costos anualizados (\$US/año) del sistema del menor costo con los recursos de viento y sol dados. Los resultados asumen una variación particular de supuestos económicos. Esta misma variación de información de velocidad de viento e insolación se usó para todas las opciones y escalas para obtener varios valores de promedios anuales mostrados. Los resultados intentan mostrar solamente tendencias generales. FV = fotovoltaicos, GTE = generador de turbina eólica.

dimensionar el conjunto de FV o las turbinas eólicas (o ambas) basado en los menores recursos mensuales. Para un sistema con un generador sustituto, puede ser más adecuado dimensionar los componentes de ER promedios de recursos anuales

La mayoría de las localidades experimentan variaciones estacionales en la distribución de insolación y velocidad del viento. Estas variaciones dificultan tener una producción consistente de conjuntos FV y turbinas eólicas. Las variaciones estacionales generalmente se deben a cambios en longitud del día conforme progresa la estación. Este tipo de variación puede ser particularmente superada mediante una adecuada inclinación de los paneles FV. La insolación puede también variar debido a la existencia de estaciones lluviosas y nubosas. La fuente del viento también es a menudo variable estacionalmente. Incluso en regiones con relativamente buenos vientos a menudo tienen periodos de uno o dos meses de bajo promedio de velocidad de viento. En este caso puede ser apropiado un híbrido viento/FV, viento/diesel, o viento/FV/diesel.

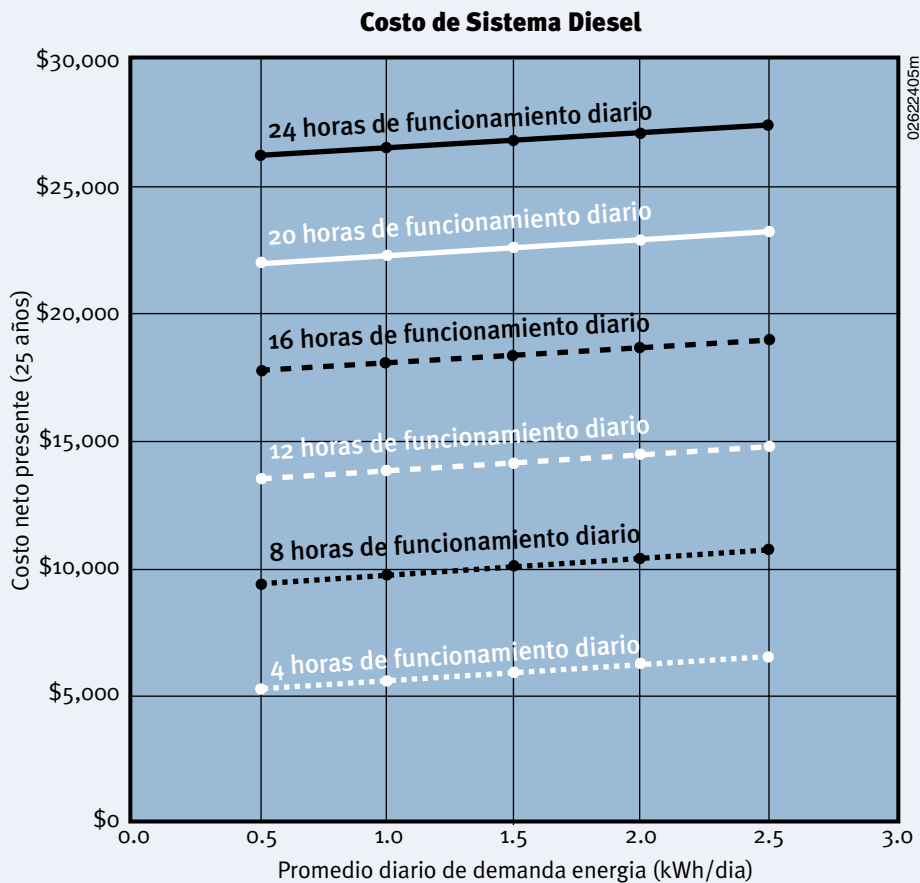
Mientras que los promedios de largo plazo conducen al dimensionamiento de la turbina eólica y la capacidad del FV, las fluctuaciones a corto plazo (del orden de días) en viento y sol influenciarán la cantidad de almacenaje requerido. Cuanto más prolongados sean los periodos de calma esperados en viento y sol mayores serán las cantidades de almacenaje necesarias. Son estas calmas las que definen el costo del 100% de los sistemas FV. Los sistemas con generadores sustitutos no necesitan dimensionar baterías para cubrir las calmas anticipadas más grandes en el recurso.



Algunos de estos puntos se ilustran en la Figura 3.1. Esta Figura muestra para una localidad particular y serie de costos asumidos, cómo la configuración de los sistemas de menor costo varía dependiendo de la fuente solar y eólica local. La figura 3.1. (superior) muestra los costos de sistemas anualizados para un centro de salud con un promedio de carga de 700 Wh por día. La Figura 3.1. (inferior) muestra los costos para una instalación más grande con un promedio de carga de 2 kWh por día.

La Figura 3.2 muestra el rango típico de costos para FV y sistemas de generador de turbina eólica (GTE) sobre un rango de cargas. Cada gráfico muestra dos bandas que reflejan dos niveles de costos dados de disponibilidad de recurso. Debido a que estos son sistemas 100% ER el nivel del recurso no es el promedio anual, sino más bien el promedio de los peores meses. Un par de ejemplos clarificarán el uso de los gráficos. La Figura 3.2. (superior) muestra que la capacidad de un sistema FV de manejo de un promedio diario de 0.5 kWh en una localidad con el peor mes de insolación (3 horas de sol/día) se espera tener un costo actual neto de 25 años entre \$US 2.500 y \$US 5.000. La figura 3.2. (inferior) muestra un sistema GTE que satisface un promedio de costo diario de carga de 1.0 kWh entre \$US 4.000 y \$US 8.000 en una localidad con el peor promedio de velocidad de viento de 5 m/s.

**Figura 3.2.** Estos gráficos muestran el rango de costo típico de la tecnología incluida (fotovoltaica o turbinas eólicas) para un sistema como una función del promedio de carga diaria. La disponibilidad de recurso incluida (para viento y para sol) es el mes con la menor disponibilidad de recurso.



**Figura 3.3.** Este gráfico muestra el costo presente neto de 25 años del uso de un generador diesel. Las dos variables son el promedio diario del costo (kWh/día) y las horas de funcionamiento diario. Note que los costos solamente varían ligeramente con la carga, pero sube rápidamente con el aumento de las horas de funcionamiento.

### Consideraciones del Generador

Para cargas mayores (por encima de 1 kWh/día) una gran decisión es si se usa o no un generador fósil. Finalmente esta decisión dependerá de un análisis de la localidad en cuestión. Las grandes ventajas del generador fósil son su capacidad de proporcionar energía sobre la demanda. La desventaja de los generadores es su alto costo de operación debido al combustible y al mantenimiento. La provisión de combustible y el mantenimiento a sitios remotos es a menudo problemático. La Figura 3.3. muestra el costo presente neto (CPN)

de 25 años de un generador a diesel de 2.5 kWh como una función de la carga promedio diaria y el promedio de funcionamiento diario. La figura muestra claramente que es el número de horas que opera lo que conduce al costo del uso de un generador. Si el número de horas de funcionamiento es bajo, los generadores pueden ser fuentes de energía competitivas. Conforme aumentan las horas de funcionamiento, los costos suben. Si las cargas consisten de cosas tales como luces y bombas de agua que funcionan sólo unas cuantas horas por día, entonces todo el costo del sistema puede ser competitivo.

Si el generador funciona más de unas cuantas horas al día, se necesita otra solución. Una posible solución es usar un sistema de generador-batería. Cuando el generador funciona, carga un banco de batería que se utiliza la mayor parte del tiempo. Los ahorros de reducir el tiempo de funcionamiento del generador cubren con creces las pérdidas de conversión causadas por la energía cicleado a través de la batería.

La otra solución es combinar el generador con paneles FV, turbinas eólicas, o ambos. Los componentes de la ER minimizan el tiempo de funcionamiento del generador, manteniendo a un mínimo los costos de operación. El generador elimina la necesidad de sobredimensionar los componentes de la ER y así reduce los costos del capital.

## CAPÍTULO 4: CONSIDERACIONES INSTITUCIONALES

### Introducción del Capítulo

Aunque por lo general se centra en varios temas institucionales, organizacionales y sociales que deberán dirigirse antes de iniciar un proyecto de gran escala, la mayor parte de la información en este capítulo es también aplicable a los proyectos de menor escala. La última parte de este capítulo discute las ventajas y desventajas de varios tipos de combinaciones del sector público y privado cuando se implementa un plan de electrificación de una Clínica de Salud.

Los temas generales de costo y seguridad son los más importantes en la mente de los responsables para los servicios de salud. La tecnología ya no es la barrera para realizar los beneficios de las tec-

nologías de la ER. Como están integradas las tecnologías institucionalmente es otra frontera. Los aspectos institucionales de política, planificación, administración, financiamiento, infraestructura de servicio, participación de la comunidad y la interfase del usuario son críticos para el uso exitoso de cualquier tecnología elegida.

### Consideraciones Generales

#### Política y Compromiso

Un marco de la política nacional es la clave para la integración de la ER en la electrificación de la Clínica de Salud. Sin una política establecida al mayor nivel y el compromiso a todo otro nivel se esfuerza para implementar que las tecnologías de ER funcionen a gran riesgo de fallas. Muchos profesionales de la salud responsables de la asignación de recursos humanos y financieros para los programas de salud pública ven las tecnologías de la ER como tecnologías experimentales costosas con una historia de fallas. Ellos no deben estar conscientes



**Figura 4.1.** Cursos regulares de entrenamiento de técnicos, tales como este en Perú, mejora la experiencia y el conocimiento. Es esencial la infraestructura de un servicio calificado y capaz para apoyar los sistemas de energía renovable en el campo





Jim Welch, Remote Power/PH06004

**Figura 4.2.** Técnicos instalan módulos fotovoltaico en una clínica de villa en Bengala Occidental, India.

de los beneficios de la aplicación exitosa. La promoción del desarrollo de la ER deberá estar acompañada de la eliminación de barreras tales como los aranceles de importación y subsidios para la energía de combustibles fósiles.

El asociarse ofrece la posibilidad de compartir los recursos, costos y beneficios. La colaboración con otros sectores de la comunidad tales como educación y agricultura es beneficioso para la misión de los programas de salud pública. Similares necesidades como la luz para la educación y seguro suministro de agua para la comunidad pueden compartir el mismo servicio y compartir los costos. La colaboración entre las entidades pública y privadas deberán buscar mantener el apoyo de salud pública con los servicios comerciales privados.

### **La toma de decisiones y la Administración**

En algunos casos los sistemas de ER fallaron en su confiabilidad. Estas experiencias a menudo han dejado la percepción de que la ER es más costosa y que requiere experiencia especializada y conocimiento. Sin las normas de calidad y el servicio adecuado estas fallas se pueden repetir. La selección y la adquisición de los sistemas de calidad y servicio deben basarse en estándares de

aceptación y control de calidad. Deben asignarse para logística, servicio y mantenimiento.

El servicio de calidad más alta es el argumento más fuerte para la integración de la ER en la atención médica. El análisis de costo generalmente se basa en el costo inicial. El análisis de los CCV puede ser un argumento favorable para la elección de la energía renovable, pero no es determinante.

### **Infraestructura de Servicio**

Aunque las tecnologías sean maduras falta una industria de servicio confiable bien desarrollado para instalar, mantener y reparar sistemas en el campo. Esta infraestructura puede desarrollar costos más efectivos mediante una asociación con otros servicios humanos del sector para compartir los costos.

Los diseñadores de sistemas y los técnicos del campo deben recibir entrenamiento regular e información para mantener conocimiento actual y experiencias. Debe haber suficiente pago por sus servicios para mantenerlos preparados y disponibles. Debe disponerse de partes de repuesto. Los usuarios del sistema deben estar conscientes del adecuado funcionamiento y cuidado con el sistema. El entrenamiento debe ser adecuado y regular.

### **Financiamiento y Generación de Ingreso**

La disponibilidad de financiamiento para la compra de equipo pondrá los beneficios de la tecnología de la ER dentro del alcance de los que más lo necesitan. Los gobiernos nacionales y los donantes internacionales han proporcionado significativos fondos de capital para la electrificación de clínicas con resultados marginales. La falta de fondos de operación para mantenimiento y reparación pronto lo convierten al equipo inutilizable.

Hay numerosos ejemplos de fondos de crédito que giran para soportar empresas del uso productivo y permitir a los individuos adquirir sistemas de alumbrado solar como un medio de electrificación rural. Los principios de estos logros deberán aplicarse a los servicios de salud basados en la comunidad y en empresas. Las estrategias para generar ingreso al nivel local puede permitir recuperar los fondos de alquiler y proporcionar fondos de operación para mantener el equipo.

## Comunidad y Cultura

Las dinámicas dentro de la comunidad juegan un papel importante en hacer o romper el éxito de un proyecto. La comunidad y sus individuos pueden apoyar, ignorar, abandonar o incluso destruir el sistema. Los sistemas y servicios proporcionados deben ser en el lenguaje apropiado y en el nivel de educación para ser comprendidos.

## Configuraciones Institucionales

Pueden considerarse una variedad de configuraciones institucionales para la integración de energías renovables dentro de la atención de salud pública. Todas las configuraciones que sean más apropiadas para un determinado país, los factores para aclarar incluyen:

- Política
- Administración del proyecto
- Financiamiento
- Entrenamiento y asistencia técnica
- Diseño del sistema
- Instalación de los sistemas
- Mantenimiento y reparación
- Control de calidad

Las configuraciones que se han usado incluyen una variedad de arreglos públicos y privados. Hay ventajas y desventajas para cada uno.

## Administración e Implementación Gubernamental

En esta configuración institucional el ministerio de salud del gobierno lleva a cabo todos los aspectos de planificación, diseño del sistema, instalación, mantenimiento y reparación de los sistemas de ER.

### Ventajas :

- El programa nacional de salud tienen una infraestructura establecida de planificación, administración, apoyo técnico y logístico a centros de salud rurales. Esta infraestructuras existentes pueden adaptarse a los sistemas de ER.
- Los programas en escala nacional pueden ser lo suficientemente grandes para tener masas críticas suficientes para desarrollar y apoyar una infraestructura de servicio.

### Desventajas

- Las burocracias del gobierno a menudo son ineficientes en el suministro de servicios. Los procesos burocráticos generalmente son lentos, particularmente cuando intervienen compras y gastos de viajes para instalación, mantenimiento y reparación.
- El personal técnico generalmente es insuficiente en número para acomodar las necesidades de todas las regiones del país.
- Los técnicos del ministerio de salud pueden familiarizarse con los sistemas de atención de la salud, pero necesitarán entrenamiento en la instalación, mantenimiento y reparación de los sistemas de ER. Ellos a menudo carecen de herramientas adecuadas y recursos.

## Administración Gubernamental e Implementación por Contratista Privado

En esta configuración institucional el ministerio gubernamental planifica los programas para utilizar ER y los temas necesarios y los asuntos solicitados por licitación para proporcionar equipo y servicios. El contratista proporciona equipo al mismo tiempo que los servicios de instalación. El contratista puede



**Figura 4.3.** Un curso de técnicos fotovoltaicos completa la lista de comprobación de la instalación final antes de encargar un refrigerador/congelador en la clínica de la comunidad de Mulukuku,

proporcionar servicios de mantenimiento y reparación según un acuerdo de servicios. Alternativamente el ministro de salud puede aceptar aquellas responsabilidades una vez que se completa y acepta la instalación.

### **Ventajas**

- Los contratistas privados en el negocio de venta e instalación de sistemas de energía renovable, generalmente están equipados con el conocimiento, experiencia y herramientas para proporcionar el servicio requerido conforme se necesita en una base contractual.
- Un ministro de salud puede estar mejor preparado para establecer la visión de trabajo e implementación de administración que para realizar realmente el trabajo con su propio personal

### **Desventajas**

- Si no existen especificaciones claras para la adquisición de equipo, los licitadores proponen sistemas con especificaciones que varían. Esto hace difícil evaluar y seleccionar las propuestas con atributos desiguales
- Muchos procesos de adquisición burocráticos automáticamente seleccionan al licitador menor sin considerar las diferencias significativas en la calidad relativa de las propuestas presentadas.
- A menudo hay falta de Normas de Aceptación para la calidad de instalación en el campo. Las instalaciones deficientes tienen una alta tasa de fallas, presenta un peligro de confiabilidad para los servicios de salud y resulta mayor costo de mantenimiento y reparación.
- Los contratistas privados no siempre son competentes para instalar sistemas profesionalmente en el campo. A menudo necesitan de entrenamiento técnico.
- Los contratistas privados no están familiarizados con las necesidades específicas de los sistemas de atención médica.
- El entrenamiento de los usuarios a menudo se olvida o es incompleto.

## **La Administración y la Implementación por Organizaciones No Gubernamentales**

Muchas organizaciones no gubernamentales (ONGs) proporcionan servicios de atención médica en las comunidades rurales. En esta configuración, la ONG adquiere, posee, opera, mantiene y repara los sistemas por su propia cuenta.

### **Ventajas**

- Las ONGs a menudo funcionan por individuos comprometidos y motivados que operan eficientemente y efectivamente con presupuesto limitado. La toma de decisiones y la implementación de los proyectos es generalmente menos burocrático que por un proceso gubernamental.
- La ONG generalmente tiene fuertes relaciones comunitarias. Como resultado, pueden ser realmente más capaces de generar ayuda comunitaria y participación así como colaborará con otros sectores de servicios tales como educación, agricultura y empresas.

### **Desventajas**

- Las ONGs generalmente operan programas para un limitado número de establecimientos que ellos mismos operan y mantienen. Esta escala de programas no brinda a sí misma para soportar significativamente de una infraestructura de servicio comercial.
- Las ONGs generalmente no tienen el conocimiento técnico especializado o experiencia para implementar tecnologías de ER sin asistencia técnica.
- Las pequeñas ONGs a menudo tienen problemas de flujo de fondos.

## CAPITULO 5: ESTUDIOS DE CASOS

### Introducción del capítulo

Este capítulo presenta cinco estudios de casos, tres de los cuales son el resultado de las visitas y observaciones directas de uno de los autores (Ken Olson). Cada estudio de caso resalta diferentes aspectos de la electrificación de la Clínica de Salud. Combinados, los estudios de casos proporcionan valiosas lecciones que pueden usarse para perfeccionar los futuros proyectos de electrificación de Centros de salud.

### Estudio del Caso # 1— Fotovoltaicos para la Inmunización: Experiencia en Africa

**Fuentes:** Organización Mundial de la Salud. (1996) "Energía Solar y la Atención Médica Rural". OMS Fact Sheet N132 Ginebra Suiza. Disponible en <http://www/who.int/inf-fs/en/fact132.html>.

Organización Mundial de la Salud. Informe de 1991 Consulta Técnica, Casa Blanca, Marruecos. Pedido No. WHO/EPI/LHIS/92.1 Ginebra, Suiza.

#### El Programa de la Cadena Fría

La Cadena Fría es un sistema de gente y equipo presente en casi todos los países, que intentan mantener las vacunas a las adecuadas temperaturas conforme se distribuyen desde el fabricante hasta las localidades donde se administran. La falla de la seguridad de refrigeración dentro de un rango específico de temperatura desde el punto de fabricación hasta el punto de uso es crítica para la misión de la Cadena Fría.

La refrigeración de absorción que funciona con propano o kerosene ha sido el método más común de preservar las vacunas en Clínica de Salud no electrificadas. También ha sido el punto más débil de la Cadena de Frío en términos de confiabilidad. Los refrigeradores de compresión ahora están reemplazando a las unidades de absorción debido a su mayor confiabilidad y a su mejor control de temperatura. Las experiencias con refrigeradores/conge-

ladores de vacunas FV en Africa fueron evaluadas por la OMS y reportadas en noviembre de 1991 a Technet Consultation. Las conclusiones y lecciones aprendidas entonces son todavía de significado hoy día. Las recomendaciones emergentes de la evaluación han conformado políticas y programas para el aumento del uso de energía solar en la atención médica rural.

Las primeras experiencias con unidades de alimentación FV mostraban mucha mayor confiabilidad conforme se comparaba con las unidades de gas. El tiempo promedio entre las fallas de los refrigeradores de vacunas FV fue de 2.6 años en Uganda y 4 años en Gambia, ambas mucho más bajas de lo que podría haberse conseguido con mejor mantenimiento básico por el personal de salud.

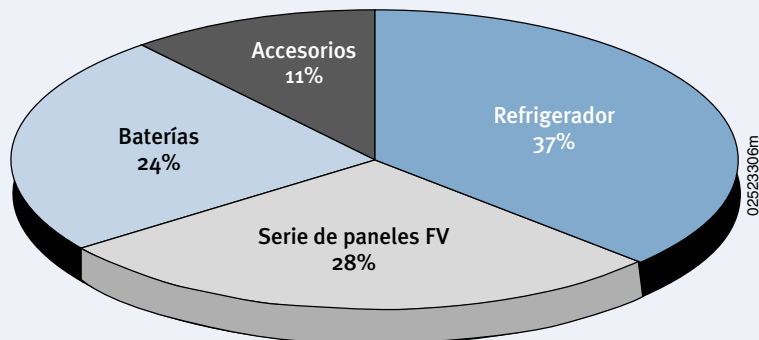
La falla promedio de los refrigeradores a keroseno fue mucho más alto. En Mali, los refrigeradores a keroseno excedieron los 8°C (46°F) el grado máximo de temperatura un promedio del 20% del tiempo. Las temperatura a menudo fueron tan altas como 25°C (77°F). El control de temperatura de las unidades de keroseno es muy mala en climas con rangos de alta temperatura diurna y particularmente en climas con temperaturas del medio día de 35°C (95°F).

La evaluación económica demostró que los costos a largo plazo de las unidades a gas eran menos que las unidades FV. El mayor costo de las unidades FV fueron principalmente causados por la necesidad de traer técnicos con experiencia a las áreas remotas para instalación, mantenimiento y reparación. Había pocos técnicos bastante experimentados en aplicaciones FV. La OMS concluyó que para las Clínica de Salud remotas con dificultades de acceso, el mayor grado de confiabilidad de las unidades FV, justificaba su mayor costo inicial. Adicionalmente, la OMS concluyó que los costos de operación de las unidades de compresión podrían reducirse con entrenamiento adecuado y costos distribuidos con otras aplicaciones.

Desde 1991, el costo de los equipos FV han disminuido y en programas de entrenamiento de campo han aumentado las experiencias locales y el conocimiento, por lo tanto rebajando los costos de servicio e instalación. Una posterior reducción en estos costos de servicio puede lograrse compartiendo con otros sectores, tales como electrificación

**Distribución de costos de ciclo-de-vida para un refrigerador solar típico**

Rango de costos totales \$3.500 - \$4.500 (US\$)



**Figura 5.1.** Análisis del costo del ciclo de vida de un refrigerador de vacunas FV.

rural para aplicaciones comerciales, agrícolas y residenciales.

En resumen la evaluación de la energía solar usada en la Cadena Fría en Africa concluyó que la refrigeración de vacunas FV mejoró la confiabilidad a largo plazo de la Cadena Fría incrementando el tiempo promedio entre fallas. Los refrigeradores FV también permitieron una colocación más estratégica en áreas remotas y por lo tanto eran capaces de servir una área más amplia y mayor población.

También se concluyó que no había necesidad de mejorar el servicio y mantenimiento. Los costos de servicio deberán ser más ampliamente compartidos con otras aplicaciones de energía solar distintas de los servicios de salud. La electricidad generada por el sol tiene el potencial de generar ingresos a través de servicios de video de la comunidad, bombeo de agua, alumbrado y otros servicios a la comunidad

Basada en la evaluación de 1991, las recomendaciones de la OMS convocaron al desarrollo de lo siguiente:

- Guías para los países que desean considerar como una opción la refrigeración alimentada por FV
- El criterio para el desarrollo, implementación y evaluación de otras tecnologías solares para la atención de la salud primaria.
- Especificaciones para los componentes de los sistemas de refrigeración alimentadas por FV

- Mejoramiento de las garantías de los fabricantes

Después de la evaluación de 1991 la refrigeración por FV fue introducida más agresivamente en la Cadena Fría. Como en 1993 los 54 centros de salud de Gambia reemplazaron las unidades de keroseno y gas con unidades FV. Algunos centros también fueron provistos con alumbrado y ebullición de agua solar. En Zaire y en Uganda el 38% y 17% respectivamente de los refrigeradores de vacunas estaban movidas por FV. En Kenia solamente una pequeña porción de las 1500 unidades de Centros de salud rurales estaban usando

refrigeración solar hasta 1991 cuando una severa interrupción de gas interrumpió el suministro de combustible y malogró los servicios de inmunización en siete distritos del país. Desde entonces Kenia ha empezado a expandir el uso de refrigeradores de vacunas alimentadas por FV. En Zaire, una Clínica de Salud generó el 36% de sus costos del programas de inmunización en el distrito a través de teatro de video por FV y servicios de cargado de baterías.

Otros países han incrementado el uso de refrigeradores de vacunas FV; el número de refrigeradores en cada país es el siguiente:

Perú	300
Indonesia	400
Zambia	250
Eritrea	200
Mianmar	300

## ESTUDIO DEL CASO # 2— Clínica de Salud con Energía FV: Chihuahua, Méjico

**Fuente:** Ken Olson, Observaciones personales, noviembre 1997.

### Cargas

#### Refrigeradores de Vacuna del Tipo de Compresión

Un termostato que se coloca a 4°C (39°F) controla un compresor de 60-W. El consumo real de

energía se determina por un número de variables tales como la temperatura del aire del ambiente y del empleo. El sistema se diseñó en este caso para un consumo de energía de 0.44 kWh/día que la unidad consumirá mientras se mantenga la temperatura de la vacuna dentro del rango de 0°C-8°C (32°F-39°F) y el congelado de 2.2 kg de bloques de hielo en una temperatura del aire del ambiente en la Clínica de Salud de 32°C (90°F) Estas son las condiciones bajo las que la OMS prueba la unidad para aprobar por la conservación de la vacuna

**Datos de Refrigerador**

Fabricación/ Modelo #:	Sunfrost RFVB Refrigerador/Congelador
Tipo:	Tipo de Compresión funciona con electricidad de 12 V CC
Almacenamiento de vacunas	
Capacidad:	17.5 litros
Congelador	2.8 Kg @ 0°C (32°F)
Capacidad:	temperatura del aire del ambiente (@ bajo consumo de energía)
Refrigerante:	134 amperios (A)

Este refrigerador fue probado por los servicio de prueba de la Cámara Ambiental en Cali, Colombia que probó los refrigeradores de vacunas para determinar si cumplían con las normas de funcionamiento de la OMS. Todas las unidades que cumplieron con las normas de la OMS fueron descritas en la referencia 8.

**Tubos de Luz Fluorescente**

Para luces de 20-W se estimó 3 horas por día. Estos son tubos estándares ya disponibles en el área. La resistencia es una resistencia magnética estándar. No hay reflectores o lentes equipados con el artefacto. El consumo de 20-W fijado para el artefacto no incluye el consumo de energía para la resistencia que generalmente se estima en 2W. El promedio diario de consumo de energía en tres horas de uso por día por aparato se calcula en:

Dos artefactos x 22 W cada uno x 3 horas/día = 132 Wh/día (0.132 kWh/día)

Total promedio carga por día = 0.572 kWh/día

**Especificaciones de los Sistemas FV**

**Conjunto FV**

159 W (pico) producirán un estimado de 0.588 kWh/día en el mes de menos sol

Se montaron tres paneles policristalinos FV de 53-W en un polo próximo a la Clínica de Salud donde se han inclinado en un ángulo igual a la latitud (30° norte) y sin sombra desde las 8 A.M. hasta las 4 P.M. el año redondo. Cada panel producirá 3.08 A en pleno sol, o 9.24 A para los tres juntos. El clima en Chihuahua recibe la menor cantidad de sol durante los meses de diciembre cuando los paneles estarán expuestos al equivalente de un promedio diario de 5.3 horas de pleno sol. Los paneles cargarán baterías de 12 voltios con 49 A-hs/día. La carga total se estimó en 0.52 kWh/día.

Durante cada uno de los meses del año cuando hay más sol, los paneles producirán más energía de la requerida por el refrigerador de vacunas y las luces alimentados por FV.

**Baterías**

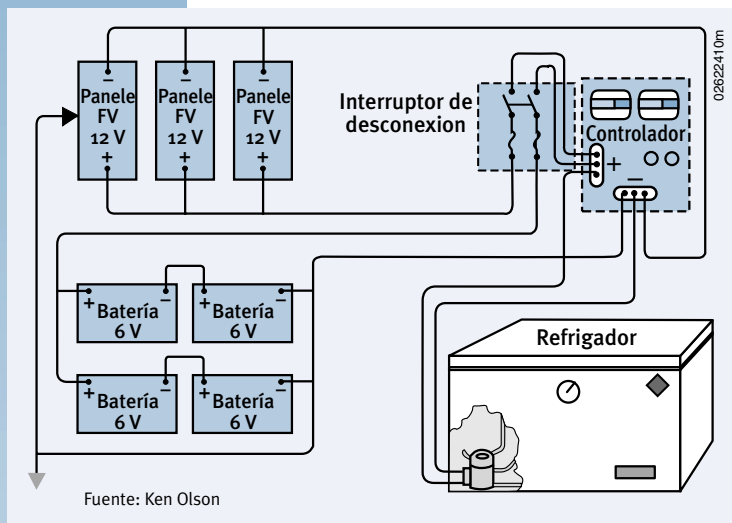
Cuatro baterías de plomo de ciclo profundo ajustadas a 220 A-hr a 6 V fueron configuradas a 440 A-hr a 12V. Como este tipo de baterías están diseñadas para descargarse no más del 80% de su capacidad fijada, se disponen de 352 A-hs para el almacenaje de energía.

**Control**

Una serie de controladores tipo FV protege las baterías del sobrecargado. El controlador está fijado a 20 A, que es más que suficiente para manejar los 9.24 A producidos por el conjunto FV. Esto deja algún espacio para paneles adicionales en el futuro si se desea.

**Tabla 5.2 Consumo de energía de un Refrigerador de Vacunas Sunfrost (kWh/día)**

	Refrigerador	Congelador
Temperatura ambiente	32°C	43°C
<b>Consumo diario de energía (kWh)</b>		
Con congeladora de hielo	0.44	0.59
Sin congeladora de hielo	0.30	0.38



**Figura 5.2.** Bloque diagrama del sistema

### Experiencia Actualizada

El sistema ha mantenido temperaturas estables de vacunas desde el día en que se instalaron.

Después de dos años, sin embargo, se observaron en la inspección que las baterías necesitaban agua destilada. El personal de la Clínica de Salud no estaba consciente de la necesidad de mantener el nivel del electrolito en las baterías con agua destilada. Sin el debido mantenimiento, este sistema podría fallar ocasionando el reemplazo de las baterías. Con el adecuado mantenimiento se anticipa una operación de 20 años o más, reemplazando baterías cada 5 años.

## Estudio del Caso # 3 – 300 Centros de salud Energizados con Fotovoltaicos : Programa Nacional de Perú

**Fuente:** Ken Olson, observaciones personales 1995-1996

### Introducción

En el Perú, en 1995 se estableció un programa nacional para conservar vacunas usando refrigeradores FV. Hasta la fecha han sido instalados un total de 300 refrigeradores / congeladores de vacunas FV.

El programa nacional está administrado a nivel nacional por el Ministerio de Salud, con ayuda técnica de la Organización de la Salud Panamericana. La administración del programa incluye la planificación, la adquisición, el entrenamiento, la implementación y la evaluación. Estas actividades requieren coordinación en los niveles nacionales, regionales y locales.

Inicialmente había poca o ninguna experiencia con las tecnologías FV en el sector de salud del Perú. Había una gran necesidad de mejorar la cobertura de inmunización, que requiere una mayor calidad de preservación de las vacunas, particularmente a nivel local. Los técnicos entrenados en cada región comprenden bien la refrigeración de compresión, pero no tienen experiencia en tecnología FV.

### Planificación

La planificación para el reemplazo de refrigeradores de vacunas con FV estaba basada en la gran necesidad de mejorar la confiabilidad de los programas de inmunización. La información es continuamente recogida y revisada con respecto a la población demográfica, incidentes de los casos de polio, sarampión, tuberculosis, difteria y otras enfermedades, así como una cobertura de inmunización. Se identificaron las áreas problemáticas con respecto a la debilidad en los programas de inmunización y el costo de ayuda logística. Esta evaluación de necesidades en el sector de salud proporcionó las bases para la selección de lugares para la instalación de refrigeradores de vacunas energizadas con FV.

### Adquisición

Se identificaron las especificaciones del sistema basadas en las recomendaciones de la OMS y se proporcionaron las bases para tres adquisiciones consistentes en 48 unidades en 1995, 118 unidades en 1996 y 50 unidades en 1997. Las adquisiciones previas y subsecuentes hacen el número total de instalaciones en el Perú de 300 refrigeradores instalados con FV.

### Programa de Entrenamiento

Se llevó a cabo un programa de entrenamiento para 15 técnicos familiarizados con los programas de Cadena Fría. El programa consistía en instala-

ciones de laboratorio de clases y campo para el propósito de entrenar técnicos a instalar, mantener, localizar problemas y reparar refrigeradores/congeladores de vacunas energizadas con FV. El personal de administración también participó para aprender los efectos del equipo FV y la logística requerida para el programa.

Los técnicos instalaron tres sistemas durante el curso, de modo que cada uno podía ganar experiencia práctica de campo en instalación. Cada técnico también aprendió los requerimientos logísticos de estar preparados para completar exitosamente una instalación en una localidad remota. Aprendieron cómo evaluar la insolación en cada lugar y como cumplir los requisitos de aceptación para una instalación confiable. Los técnicos también aprendieron a entrenar al personal de salud en la operación adecuada y el mantenimiento del sistema.

Los participantes del curso debieron pasar una serie de competencias y exámenes así como un mínimo requerido de pruebas de demostración de aptitud para pasar exitosamente el curso. La conclusión del curso les calificó para trabajar con una técnica experimentada en instalaciones de campo siendo calificados para completar una instalación por su cuenta.

## Estudio del Caso # 4 — Fotovoltaicos para la Salud: Una propuesta Integrada

**Fuente:** Dierolf, Carlos F., Celis Geovanny; "Energía solar para la Salud" Un Enfoque Integrado: Segundo informe de Progreso, cubriendo el Periodo Noviembre, 1995-Mayo, 1996; Remitido como requisito parcial de acuerdo para el desarrollo de trabajo Reg. Archivo. Epi/19/181/1.95.10; Cali, Junio 15, 1996.

**Localidad:** Chocó, Colombia, Sudamérica, 1995.

**Socios:** Organización Mundial de la Salud/Organización de la Salud Pan Americana/Gobierno de Holanda

### Metas

- Mejorar los servicios de salud con el uso de tecnología fotovoltaica.
- Hacer los sistemas fotovoltaicos sostenibles con la participación de la comunidad
- Demostrar la factibilidad de la electrificación rural en los servicios de salud rurales.

### Objetivos

- Generar el ingreso de la comunidad para apoyar los servicios de salud
  - Micro empresas basadas en la comunidad para generar ingreso
  - Ingreso para apoyar las operaciones y mantenimiento
- Establecer un consejo comunitario
- Proporcionar entrenamiento
  - Entrenamiento técnico para mantener los sistemas de energía solar
  - Entrenamiento de micro empresa



**Figura 5.3.** Técnicos instalan paneles fotovoltaicos en el techo de la Clínica El Molino, cerca de Trujillo, Perú.



## Resumen

Cuatro comunidades rurales remotas en la provincia de Chocó en la costa del Pacífico en Colombia utilizan los sistemas FV para proporcionar servicios de atención médica, refrigeración de vacunas, alumbrado, comunicaciones y aplicaciones médicas.

Cada una de las cuatro comunidades establecieron consejos comunitarios para crear micro empresas para generar fondos de mantenimiento de los sistemas FV. Los consejos comunitarios recibieron sistemas FV para energizar micro empresas incluyendo cuatro teatros de video, dos estaciones de cargado de baterías y la venta de linternas energizadas por FV. Cuatro iglesias también recibieron sistemas de iluminación. Dos técnicos fueron seleccionados de cada comunidad y fueron entrenados en instalación, localización de problemas, mantenimiento y reparación de sistemas.

## Especificación de Sistemas FV (Docordo)

### 1. Refrigerador/congelador de vacunas

- Cinco módulos 55-W FV
- Baterías de ciclo profundo, de plomo de 200 A-hr
- Un control FV

### 2. Cargas de sistemas de Centros de salud

- Siete lámparas fluorescentes de 20 W CC para sala de emergencias, sala de entrega, laboratorio, pediatra, enfermera, sala de hombres y sala de mujeres
- Radio de onda corta
- Nebulizador
- Receptáculo CC
- Centrifugadora (AC)
- Lámpara de microscopio
- Cinco módulos 55-W FV
- Cuatro baterías de 6-V, 159 A-h (300 A-h a 12V)
- Control FV (capacidad 20 A a 12V)
- Un inversor de 140 W (12 V CC a 120 VAC)

### 3. Casa para doctor

- Cinco lámparas fluorescentes de 20-W

- Un módulo de 53 W FV
  - Una batería de ácido-plomo de ciclo profundo de 50 A-hr
  - Un receptáculo para televisor o radio de 12 V
- ### 4. Teatro video
- Un TV (19" color)
  - Un VCR
  - Dos lámparas fluorescentes de 20 W
  - Dos módulos e 50-W FV
  - Dos baterías de 50 A-h (100 A-h a 12 V)
  - Un controlador FV
  - Un inversor de 300 W

## Conclusiones

• El ingreso generado por cada una de las comunidades para las operaciones y mantenimiento en los centros de salud durante el periodo de nueve meses de diciembre a abril de 1995 fue el siguiente:

- Docordo \$US 420 – Guinea \$US 655
- Noanama \$US 335 – Orupa \$US 496

• El proyecto fue bien recibido por cada una de las comunidades y las instituciones de salud. No hubo, sin embargo, participación activa de las autoridades locales

• Los servicios de salud rurales fueron mejorados por los sistemas FV

- Se incrementó la cobertura de vacunas
- El diagnóstico de malaria fue más rápido
- Las comunicaciones de emergencia fueron efectivas
- El alumbrado mejoró la calidad de visitas nocturnas de los centros de salud
- El alumbrado mejoró la calidad de las residencias del personal
- Se mejoró la educación de salud
- Hubo reducción en los accidentes de lámparas de keroseno en los hogares

• La participación de la comunidad fue efectiva en la generación de fondos para el mantenimiento de los sistemas FV para la atención médica

- Los consejos de la comunidad necesitan asistencia con lo siguiente:

- Experiencia administrativa
- Conocimiento del mercado para FV
- Relación directa con los distribuidores
- Establecimiento de un programas de crédito financiero para expandir el mercado de los sistemas FV

- La futura toma de estos éxitos en gran escala dependerá del financiamiento innovador, de la inversión, y del desarrollo del mercado privado para la energía.

## ESTUDIO DELCASO # 5 — República Dominicana

**Fuente:** Ken Olson, Observaciones personales 1994-1996.

### Visión General

Un programa nacional para integrar la tecnología de FV en el sector de salud de la República Dominicana ofrece lecciones importantes para aprender.

La comunidad Europea Donó \$US 1.000.000 al gobierno de la República Dominicana con el propósito de electrificar Centros de salud con sistemas de refrigeradores de vacunas con energía FV y alumbrado.

### Especificación del Sistema

Cada Clínica de Salud fue diseñada para recibir el mismo sistema consistente de refrigerador de vacunas y cuatro luces. Cada sistema fue provisto de seis paneles FV de 50 W, cuatro baterías de plomo de ciclo profundo y un controlador. Cada sistema cuesta \$US 6.000

### Planificación e Implementación

El plan inicial fue llevar a cabo un programas piloto de 20 sistemas y evaluar las experiencias antes de completar el balance del proyecto. Ninguna evaluación se realizó a la conclusión de la fase piloto y se instalaron un total de 164 sistemas. Después de un año, se observó que había un alto índice de fallas en los sistemas instalados. Una evaluación subsecuente reveló que después de un año

de servicio, el 25% de los sistemas fallaron en su funcionamiento y el 60% necesitó reparación, principalmente reemplazo de baterías. Quince por ciento de los sistemas funcionaron sin problemas.

Se cometieron muchos errores que podían evitarse si se hubiera realizado una evaluación de la fase piloto.

- El refrigerador elegido fue muy ineficiente. Fue un modelo doméstico adaptado para operar con 12 V. No hubo un refrigerador de vacunas aprobado y consumió más energía de la que los paneles podían producir en la mayoría de los climas.

- Cada sistema fue diseñado idénticamente sin considerar la disponibilidad de insolación en cada clima.

- Los que instalaron los sistemas fueron gente sin experiencia y sin entrenamiento.

- Algunos sistemas tuvieron insuficiente dimensionamiento del cable resultando una caída excesiva de voltaje en el sistema.

- Los sistemas fueron localizados en centros de salud que eran electrificadas y que no eran remotas.

### Lecciones Aprendidas

Como resultado de la evaluación se recomendó que:

- Se desarrollen normas para la localización, diseño, adquisición y servicios de los sistemas FV

- Se establezca un programas de entrenamiento para certificar diseñadores de sistemas, instaladores y usuarios.

- Deben asignarse fondos para el mantenimiento regular

- Debe establecerse un programa de mantenimiento

## CAPITULO 6: LECCIONES APRENDIDAS

### Introducción al Capítulo

Se han aprendido muchas lecciones de las pasadas experiencias. Las lecciones aprendidas son un valioso recurso para futuros éxitos. Estas experiencias se aplican a todos los niveles: institucional, operacional, diseño del sistema, tecnología y desarrollo.

### Institucional

- Debe apoyarse con voluntad política y compromiso un marco de trabajo político para integrar los recursos de ER en atención de la salud pública.
- Las percepciones son a menudo inexactas o exageradas. Las malas percepciones comunes son que los sistemas de energía renovable son inaccesibles, una tecnología futura o que no requiere mantenimiento.
- Los programas financiados por donadores a menudo fallan por falta de fondos de operación y de infraestructura de servicio local.
- Las infraestructuras de servicios locales existentes pueden adaptarse para proporcionar mantenimiento de rutina y reparación oportuna.
- Es esencial la organización basada en la comunidad que ofrece credibilidad para el éxito del proyecto.
- Los costos de evaluación basados sólo en los costos iniciales desalientan la elección de los recursos de ER
- Los análisis de costos a menudo no consideran las mejoras del servicio (parcial vs. 24 horas).
- Existen beneficios de gran potencial de cooperación con otros sectores de servicios humanos tales como educación, agricultura, suministro seguro de agua, desarrollo económico y comunicaciones. Estos vínculos necesitan desarrollarse.
- El suministro de energía en la comunidad local puede generar ingresos para apoyar los gastos de operación

- El suministro de energía es necesario en la comunidad local y la capacidad económica para apoyar una infraestructura de servicio comercial.

### Operacional

- La falta de mantenimiento es común y ocasiona fallas de sistema.
- La falta de normas de instalación y de aceptación ocasiona fallas del sistema.
- Los usuarios a menudo no están conscientes de la adecuada operación y limitaciones de los sistemas. La medición a menudo no es entendida o es confusa para el usuario.
- El entrenamiento debe ser total y continuo.
- La logística a menudo no es entendida y muy burocrática.
- A menudo hay una falta de partes de repuestos, particularmente con partes especiales.
- Los sistemas deben suministrarse tan completos como sea posible.
- Los proyectos piloto deben ser replicables y utilizar tecnologías probadas.
- Los proyectos piloto deben ser a una escala manejable para que se puedan implementar.
- Los proyectos piloto deben monitorearse y evaluarse antes de la implementación de los proyectos a plena escala normal.

### Diseño del Sistema

- La falta de normas de adquisición conduce a confusión por parte de distribuidores y a menudo resulta a menos costo la opción menos adecuada.
- La mayor eficiencia significa menores costos.
- Los sistemas de energía deberán integrarse con aplicaciones de uso final.
- Los sistemas/aplicaciones de energía deben tener el menor costo, la mayor opción de beneficio para cumplir las necesidades de atención médica pública.
- Los sistemas deberán diseñarse y proporcionarse tan completos y detallados como sea posible.
- Los sistemas y equipos deben ir acompañados de adecuados manuales técnicos y para el usuario.

- Un tamaño no les queda a todos. Los sistemas deben ser diseñados adecuadamente para situaciones particulares de lugar.
- La electrónica sofisticada puede ser vulnerable al daño por rayos.

## **Necesidades de Tecnología y Desarrollo**

- Hay necesidad de mayor información confiable de recursos
- Los procesos de implementación pueden requerir (4-5) años para el pleno arranque. Entonces la implementación es continua.
- La elección debe conducirse mediante las necesidades programáticas en lugar de la tecnológica.
- Los planificadores de programas necesitan información confiable y comprensible que consideren las opciones de energía.

## REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. (1996). "Solar Energy and Rural Health Care: WHO Fact Sheet N132. Ginebra, Suiza. Disponible en <http://www.who.int/inf-fs/en/f.ct132.htinl>.
2. Wemer, D.; Sanders, D.; y otros. (1997). *The Politics of Primary Health Care and Child Survival*. Health Wrights, 946 Hamilton Ave., Palo Alto, CA, 94301.
3. Organización Mundial de la Salud. (1997). *World Health Report 1997*. Ginebra, Suiza. Disponible en <http://www.who.int/whr/1997.whr-e.htm>.
4. Organización Mundial de la Salud. (1980). *The Primary Health Care Worker*, De. Rev. Ginebra, Suiza.
5. *World Health Report 1997*.
6. Gipe, P (1993). *Wind Power for Home and Business*. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vermont.
7. Cowen, W.D.; Borchers, M.L.; Eberhard, A.A. Morris, G.J.; and Purcell, C. de V (1992). *Remote Area Power Supply Design Manual*. 2 volúmenes, Energy for Development Reseach Center, Universidad de Ciudad del Cabo, Ciudad del Cabo Sud Africa.
8. Organización Mundial de la Salud. (1997). *Product Information Sheets*. Pedido No WHO/EPI/II-IIS/97.01. Ginebra, Suiza. Las Hojas de Información del Producto fueron producidas por el Programa Expandido en Inmunización en colaboración con la División de Suministros de la UNICEF y dos programas de la OMS: el Programa para Infecciones de Respiración Aguda (ARI) y el Programa de Seguridad de la Sangre (BLS).

## BIBLIOGRAFIA

- Cabraal, A.; Cosgrove-Davies, M.; and Schaeffer L. (1996). *Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs*. Documento Técnico # 324 del Banco Mundial. Serie del Departamento Técnico del Asia Washington, D.C.
- Cardinal, J.; Flowers, L.; Taylor, R.; and Weingait, J. (1997). *Proceedings of Vitlage Pauer' 97*. NREL/CP-440-23409. Laboratorio Nacional de Energía Renovable. Golden, Colorado.
- Cowen, W.D.; Borchers, M.L.; Eberhard, A.A.; Morris, G.J.; and Purcell, C. de V. (1992). *Remote Area Power SuppLy Design Manual*. 2 volúmenes, Energía para el Desarrollo del Centro de Investigación, Universidad de Ciudad del Cabo, Ciudad del Cabo Sud Africa.
- Ediciones Cross, B., (1995). *The WorLd Directory of Renewable Energy Suppliers and Services 1995*. James & James Sciences Publishers, Ltd., Londres Reino Unido.
- Dierolf, C. F. and Celis G. (1996). "Energía Solar para la Salud: Un Enfoque Integrado": Segundo Informe de Progreso, Cubriendo el periodo Noviembre, 1995-Mayo,1996; Remitido como requisito parcial de: acuerdo para el desarrollo de trabajo Reg.FileEPI/19/181/1.95.10; Cali, Colombia,15 Junio 1996.
- Duffie, J. A., Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2da Ed., John Wiley & Sons, Inc., Nueva York.
- Durand, J.M., Zaffran, M., "Sale of Excess Solar Energy: a Contribution to the Recurrent Costs of humanization Programmes"
- Energía Solar Internacional (1998). *Photovoltaic Design Manual* 2da ed., Cajón Postal 715, Carbondale colorado, 81623.
- Fowler Solar Electric Inc. (1991). *Battery Book for Your PV Home*. Worthington, Massachusetts.
- Gipe, P. (1993). *Wind Power for Home and Busines*, Chelsea Green Publishing Company White River Junction, Vermont.
- Gregory J.; Silveira, S.; Derrick, A.; Conley, P; Allinson, C.; Paish, O. (1997) *Financing Renew Financing Renewable Energy Projects: A Guide for*

- Development Workers*. Publicaciones Técnicas Intermedias, Instituto Ambiental de Londres y Estocolmo 1997. pp.157.
- Hankins, M. (1993). *Solar Electric Systems for Africa: A Guide for Planning and Installing Solar Electric Systems in Rural Africa*. Edición revisada; Consejo de Ciencia de la Comunidad Británica & AGROTEC; Londres, Reino Unido y Harare, Zimbabwe.
- Hankins, M. (1993). *Solar Rural Electrification in the Developing World, Four Country Case Studies: Dominican Republic, Kenya, Sri Lanka, Zimbabwe*. Fondo para Luz eléctrica Solar; Washington D.C.
- Hunter, R. and Elliot, G., ed. (1994). *Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and its Implementation*. Prensa de la Universidad de Cambridge, Reino Unido.
- Independent Development Trust. (1995). "Model Clinics Programme: IDT & United States Department of Energy;" Ciudad del Cabo Sud Africa. 25 pp.
- Independent Development Trust. "IDT Electrification of Clinics in the RSA." Ciudad del Cabo, Sud Africa. pp. 7.
- Jimenez, A. C. (1998). *Optimal Design of Stand Alone Power Systems for Remote Rural Health Facilities*. Master's Thesis; Universidad del Estado de Colorado; Forte Collins, Colorado.
- Laboratorios Nacionales de Sandia. (1995). *Stand Alone Photovoltaic Systems: A Handbook of Recommended Design Practices*. Informe # SAND7-7023, Laboratorios Nacionales de Sandia, Albuquerque, Nuevo Méjico.
- McNelis, B.; Derrick, A.; and Starr, M. (1992). *Solar Powered Electricity: A Survey of Photovoltaic Power in Developing Countries*. Publicaciones Técnicas Intermedias, Londres, Reino Unido.
- Nelson, V. (1996). *Wind Energy and Wind Turbines*. Instituto de Energía alternativa, West Texas A&M University, Canyon, Texas.
- Organización Mundial de la Salud. *Conclusions and Recommendations on Solar Energy and Health for the World Solar Summit*, Paris 1993. Pedido No WHO/EPI/LHIS/93.4 Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (1996). *Integration of Health Care Delivery*. Informe Técnico de la OMS Serie # 861. Pedido No 1100861. Ginebra, Suiza. pp.73.
- Organización Mundial de la Salud. (1994). *Maintenance and Repair of Laboratory, Diagnostic, Imaging and Hospital Equipment*. Pedido No 1150423. Ginebra, Suiza. pp.164.
- Organización Mundial de la Salud. (1978). *Primary Health Care: A Joint Report by the Director-General of the Organización Mundial de la Salud and the Executive Director of the United Nations Children's Fund*. Presentado en la Conferencia Internacional Sobre atención Médicas Primaria, Alma-Ata, Union de Republicas Socialistas Sovieticas, 6 al 12 de Septiembre 1978. Pedido No. 1130001. Ginebra, Suiza. pp. 79.
- Organización Mundial de la Salud. (1980). *The Primary Health Worker*, Rev. Ed. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. *Product Information Sheets, World Health Organization 1997*. Pedido No. WHO/EPI/LHIS/97.01. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. *Report of 1991 Technet Consultation, Casablanca, Morocco*. Pedido No. WHO/EPI/LHIS/92.1. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (1997). *Technet Consultation, Manila, 12-16 February 1996*. Pedido No WHO/EPI/LHIS/97.02. Ginebra Suiza. Disponible en web en <http://www.who.int/gpo-coldchain/technet.html>.
- Organización Mundial de la Salud 1991. (1996). "Solar Energy and Rural Health Care". WHO Fact Sheet N132. Ginebra, Suiza. Disponible en web en <http://www.who.int/inf/fs/en/fact132.html>.
- Organización Mundial de la Salud. (1993). *Working papers on solar energy and health for the world solar summit, Paris, 1993*. Logística para la Serie de Información de Salud. Pedido no. WHO/EPI/LHIS/93.3. Ginebra, Suiza.
- Organización Pan Americana de la Salud. *Twelfth Technical Group Meeting on Vaccine-Preventable Diseases: Conclusions and Recommendations, Guatemala City, Guatemala, 8-12 September 1997*. Programa Especial para Vacunas e inmunización.
- Werner D.; Sanders, D.; y otros. *The Politics of Primary Health Care and Child Survival*. Derechos de la Salud; Palo Alto, California.

Zaffran, M. (coordinador) (1993). *Report on Solar Energy and Health: for the World Solar Summit, Paris 1993*. Organización Mundial de la Salud Programa Expandido para la Inmunización. Pedido no. WHO/EPI/LHIS/932. Ginebra, Suiza.

Zaffran, M. "Solar Refrigeration for the Storage of Vaccines in the Expanded Programme on Immunization in Developing Countries"

## GLOSARIO

**Altitud**—El ángulo entre el horizonte (un plano horizontal) y el sol medido en grados.

**Amperio (amp)**—Unidad de corriente eléctrica que mide el flujo de electrones por unidad de tiempo

**Amperio-Hora (Ah)**—La cantidad de energía eléctrica igual al flujo de corriente de un amperio durante una hora

**Angulo de Incidencia**—Angulo que referencia que golpea la radiación del sol una superficie. Un ángulo "normal" de incidencia se refiere a que el sol golpea (cae) en un ángulo de 90° (o perpendicular).

**Angulo de Inclinación**—Angulo de inclinación del colector medido en grados desde la horizontal.

**Atención Médica Primaria**—Atención médica esencial basada en métodos, prácticos, científicamente sanos, y socialmente aceptables y la tecnología que conduce los principales problemas de salud en la comunidad y proporciona servicios preventivos, curativos y de rehabilitación.

**Auto Descargue de Batería**—El auto descargue es la pérdida de energía química, de otro modo utilizable, por corrientes espontáneas dentro de la célula o batería si considerar sus conexiones o circuitos externos.

**Azimut**—El ángulo entre el sud verdadero y el punto directamente debajo de la localización del sol. Medido en grados.

**Batería**—Dos o más "células" conectadas eléctricamente para almacenar energía eléctrica.

**Batería de ciclo Profundo**—Tipo de batería que puede ser descargada hasta una gran fracción de capacidad muchas veces sin dañar la batería.

**Cadena Fría**—Sistema de gente y equipo que intenta mantener vacunas a temperaturas adecuadas desde que se distribuyen del fabricante hasta las localidades donde se administran.

**Capacidad de la Batería**—Generalmente el numero total de amperios-horas que se pueden recibir de una célula o batería plenamente cargada.

**Carga**—La cantidad de energía eléctrica que se consume en cualquier momento dado. También cualquier dispositivo o aplicación que está usando energía.

**Carga Pico**—La máxima carga o consumo de energía eléctrica que ocurre en un periodo de tiempo.

**Célula Fotovoltaica (PV)**—Una célula que genera energía eléctrica cuando la radiación solar que incide cae en ella.

**Célula Solar**—Célula fotovoltaica.

**Ciclo de Rendimiento**—La relación del tiempo activo al tiempo total. Usado para describir el régimen de operación de aplicaciones o cargas en sistemas independientes.

**Ciclo de vida de la Batería**—El número de ciclos, a una profundidad específica de descargue, que una célula o batería puede experimentar antes de fallar para cumplir su capacidad específica o criterio de operación de eficiencia.

**Circuito Eléctrico**—Una ruta completa que siguen los electrones desde la fuente de energía a la carga y de regreso a la fuente.

**Compensación de Temperatura**—Un subsidio que se hace en puntos en el controlador de carga para cambiar las temperaturas de la batería.

**Concentrador**—Un componente óptico de un conjunto fotovoltaico usado para dirigir y aumentar la cantidad de luz solar incidente en una célula solar.

**Condicionamiento de Energía**—El equipo eléctrico que se usa para convertir energía de un conjunto fotovoltaico en una forma adecuada para satisfacer los requerimientos de suministro de energía de cargas más tradicionales. Holgadamente, un término colectivo para inversor, transformador, voltaje, regulador, medidores, interruptores y controles.

**Conexión en Paralelo**—El método de interconexión de dispositivos que producen electricidad o dispositivos que consumen energía de manera que el voltaje es constante y la corriente es aditiva.

**Conexión en Serie**—Un método de interconexión de los dispositivos que producen electricidad o dispositivos que usan energía de modo que la corriente permanece constante y el voltaje es aditivo.

**Conjunto**—Una configuración de módulos juntos integrados mecánicamente con estructura de soporte, diseñado para formar una unidad que produce energía FV.

**Controlador de Carga**—Un dispositivo que controla el índice de carga y/o el estado de carga de la batería

**Corriente**—El flujo de carga eléctrica en un conductor entre dos puntos teniendo una diferencia en potencial (voltaje).

**Corriente alterna (AC)**—Corriente eléctrica en la que la dirección del flujo oscila a intervalos regulares de frecuencia.

**Corriente de Corto Circuito**—Corriente medida cuando una célula PV (módulo) no está conectada a una carga u otra resistencia.

**Corriente Directa (CD)**—Corriente eléctrica que fluye en una dirección.

**Corriente Eléctrica**—Magnitud del flujo de electrones.

**Costo Anualizado**—El costo anual equivalente de un proyecto si los gastos se tratan como si fueran iguales cada año. El descuento total de los costos anualizados sobre la vida del proyecto es igual al costo presente neto (CPN) del proyecto.

**Costo de Energía**—El costo por unidad de energía que, si se mantiene constante en todo el periodo de análisis podría proporcionar el mismo valor de ganancia presente neto que el costo presente neto del sistema.

**Costo del Ciclo de Vida**—Un estimado del costo de propiedad y operación de un sistema durante el periodo de su vida útil; generalmente expresado en términos del valor presente de todos los costos incurridos durante la vida del sistema.

**Costo Presente Neto**—El valor en base anual (generalmente el presente año) de todos los gastos asociados con un proyecto.

**Cut-In Speed**—La velocidad del viento mínima con la que una turbina eólica particular producirá energía.

**Cut-Out Speed**—La velocidad con la cual una turbina eólica particular podría reducir su producción de energía para protegerse de las excesivas velocidades de viento. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas hacen esto mediante el ladeo fuera del viento.

**Curva de energía**—Una representación gráfica de una producción de energía de una turbina eólica como una función de la velocidad del viento.

**Curva IV**—La representación gráfica de una corriente en relación al voltaje de una célula, módulo o conjunto fotovoltaico cuando la carga incrementa de voltaje cero a un voltaje máximo. Típicamente medido a en 1000 vatios por metro cuadrado (kW/m<sup>2</sup>) de insolación solar a una temperatura específica de la célula.



**Desconectador**—Interruptor usado para conectar o desconectar componentes en un sistema stand-alone.

**Días de Autonomía**—El número de días consecutivos un sistema independiente, cumplirá una carga definida sin consumo de energía.

**Equalización**—el proceso de mezcla de electrolito en las baterías por sobrecarga periódica de las baterías por un periodo corto.

**Eficiencia**—La relación de la energía producida a la energía consumida.

**Eficiencia de Conversión (Célula)**—La razón de la energía eléctrica producida por una célula fotovoltaica (bajo condiciones de pleno sol) a la energía solar incidente sobre la célula.

**Eléctrica Térmica Solar**—Método de producción de electricidad de la energía solar concentrando la luz solar en un fluido de trabajo que cambia de fase para mover un generador de turbina.

**Electrolito**—Un medio de conducción en el que tiene lugar el flujo eléctrico por la migración de iones. El electrolito para las células de almacenamiento de ácido-plomo es una solución acuosa de ácido sulfúrico.

**Energía Renovable**—Energía que no es producida por medios de combustibles fósil y nucleares. Incluye la energía producida por turbinas eólicas, hidroeléctricas y biomasa.

**Estado de Carga**—La capacidad disponible en una célula o batería expresada como porcentaje de la capacidad establecida. Por ejemplo, si se han eliminado 25 amperios horas de una célula completamente cargada con 100 amperios horas, el nuevo estado de carga es del 75%.

**Estado de Carga de la Batería**—Porcentaje de la carga plena o 100% menos la profundidad de descarga (ver profundidad de descarga).

**Horas de Pico Solar**—El número equivalente de horas por día cuando la irradiación solar produce 1000 W /m<sup>2</sup>.

**Índice de Carga**—La corriente aplicada a una célula o batería para restituir su capacidad disponible.

**Insolación**—La radiación solar que incide en un área. Generalmente expresado en vatios por metro cuadrado (W /m<sup>2</sup>).

**Inversor**—Un dispositivo en estado sólido que cambia una entrada de CC en una salida de AC.

**Kilovatio (kW)**—Mil vatios

**Kilovatio Hora (kWh)**—Mil Vatios horas.

**Lugares Remotos**—Lugares que no están localizados cerca de una red de servicio.

**Mes Presumido**—El mes que tiene la menor producción de energía ER a la razón de carga.

**Módulo (Panel)**—Una configuración eléctrica predeterminedada de celda solares laminadas dentro de un montaje protegido.

**NEC (CEN)**—Una abreviación del Código Eléctrico Nacional que contiene guías de seguridad para todo tipo de instalaciones eléctricas. El artículo 69 se refiere a sistemas fotovoltaico solares.

**Normas de Aceptación**—Un juego de características, atributos, situaciones y criterio de operación que establece el mínimo aceptable de calidad y valor del producto y de servicio. En el contexto de la atención médica, estas normas se adoptaron por el comprador o la autoridad responsable de la adquisición de los sistemas de atención médica.

**Ohmio**—Una unidad de medida de resistencia eléctrica.

**OMS**—Organización Mundial de la Salud.

**Orientación**—Colocación de acuerdo a las direcciones N, S, E, W; El azimut es la medida en grados desde el sud verdadero.

**Panel**—Ver módulo.

**Pico de Arranque**—La capacidad de un inversor o generador para entregar altas corrientes durante cortos periodos de tiempo como cuando arrancan los motores.

**Profundidad de Descarga**—La cantidad de amperios-horas extraídas de una célula o batería plenamente cargada, expresada como porcentaje de la capacidad fijada.

**Punto de Energía Máxima**—El punto de operación en una curva IV del conjunto FV donde se entrega la máxima energía.

**Red**—Red de líneas de transmisión, líneas de distribución y transformadores usados en centrales de sistemas de energía.

**Salud**—Un estado físico, mental y bienestar social, no solamente la ausencia de dolencia.

**Sílice de Cristal Simple**—Un material formado de un cristal simple de silicio.

**Silicio amorfo**—Una célula de silicio FV de película delgada que no tiene estructura cristalina.

**Silicio Cristalino**—Un tipo de célula FV hecha de un cristal simple o sílice policristalino de silicio.

**Sistema Fotovoltaico (PV)**—Un agregado instalado de conjunto solar, condicionante de energía y otros sub-sistemas que proporcionan energía a una aplicación dada.

**Sistema Stan-Alone**—Un sistema que opera independientemente de las líneas de servicio. Puede tomar la energía complementaria del servicio pero no es capaz de suministrar energía al servicio.

**Turbina eólica**—Un dispositivo que convierte la energía de movimiento en electricidad.

**Vatio, Vatiaje (W)**— Medida de la energía eléctrica. Vatios = voltios x amperios.

**Vatio-Hora (Wh)**—Una cantidad de energía eléctrica cuando se utiliza un vatio durante una hora.

**Vatios Pico (Wp)**—La cantidad de energía que un dispositivo fotovoltaico puede producir durante picos de insolación cuando la célula se orienta directamente al sol.

**Velocidad de Descarga**—La corriente extraída durante un periodo específico de tiempo desde una célula o batería.

**Voltaje de Circuito Abierto**—El voltaje máximo posible a través de un conjunto fotovoltaico.

**Voltaje Nominal**—Un voltaje de referencia usado para describir baterías, módulos o sistemas (por ejemplo una batería, módulo o sistema de 12 voltios o 24 voltios).

**Voltio, Voltaje, (V)**—Una unidad de medición de la fuerza dotada a los electrones en un circuito eléctrico; potencial eléctrico.

## A CERCA DE LOS AUTORES

### Ken Olson

Ken Olson es co-Fundador y Director ejecutivo Energía Solar Internacional (ESI), una organización educacional no lucrativa. La ESI proporciona educación, entrenamiento y asistencia técnica en el uso de energía renovable y tecnologías de fortalecimiento ambiental.

Ken es un educador vocacional y consultor de energía renovable quien ha trabajado intensamente en América Latina. Desde 1989, Ken ha proporcionado asistencia técnica, entrenamiento, evaluación y servicios de planificación para proporcionar centros de salud rurales en países subdesarrollados con energía eléctrica segura a partir de energías renovable. Ha escrito y contribuido a numerosas publicaciones técnicas en lo referente a diseño e instalación de sistemas de energía renovable que proporcionan energía de los recursos solares, eólicos e hídricos.

### Información de Contacto:

Ken Olson  
Solar Energy International  
PO Box 715  
Carbondale, CO 81623  
Teléfono : 970-963-8855  
Fax : 970-963-8866  
Correo electrónico: sei@solarenergy.org

### Antonio "Tony" Jimenez

Un graduado de la Universidad de Colorado (B.S. Ingeniería Física 1990) y de la Universidad Estatal de Colorado (M.S. Ingeniería Mecánica 1998), Tony Jimenez ha trabajado en el Equipo de energía de Villa de NREL desde 1955 realizando análisis de dimensionamiento de sistemas en muchas instalaciones híbridas propuestas. También ha trabajado en aplicaciones de sistemas renovables e híbridos, tales como esta guía y en el desarrollo de dimensionamiento de híbridos y herramientas de análisis.

**NOTICIA:** Este documento se preparó como resultado de el soporte de una agencia del gobierno de Estados Unidos. Ni el gobierno de los EE.UU. ni sus agencias, ni ningún empleado realiza una garantía, expresa o implícita, o asume responsabilidad legal o de precisión, completo, o utilidad de cualquier información, aparato, producto, o proceso discutido, o representa que su uso no contravenga derechos de propiedad privada. Referencias de un producto específico comercial, proceso, o servicio de nombre de marca o fabricante no constituye necesariamente o implica un respaldo, recomendación, o favoritismo del gobierno de EE.UU. o de una agencia de la misma. Los puntos de vista y opiniones de los autores expresadas en este documento no necesariamente son o reflejan los del gobierno de EE.UU. o de una agencia de la misma.

Disponible a DOE y contratistas de DOE de:

Office of Scientific and Technical Information (OSTI)  
P.O. Box 62  
Oak Ridge, TN 37831

Precios disponibles al teléfono 423-576-8401

Disponible al público de:

National Technical Information Service (NTIS)  
U.S. Department of Commerce  
5285 Port Royal Road  
Springfield, VA 22161  
703-605-6000 or 800-553-6847



## Renewables for Sustainable Village Power

Esta es la primera de una serie de guías de aplicaciones que el Programa de Energía de Villas de NREL está comisionando para acoplar sistemas comerciales renovables con aplicaciones rurales, incluyendo agua, escuelas rurales y micro empresas. La guía está complementada por las actividades de desarrollo del Programa de Energía de Villas de NREL, proyectos pilotos internacionales y programas de visitas profesionales. Para mayor información sobre el Programa de energía para villas de la NREL, por favor contáctese con nuestra red Internet:

<http://www.rsvp.nrel.gov/rsvp/>

Producido por el  
**Departamento de Energía de EE.UU**  
1000 Independence Avenue, SW  
Washington, DC 20585

por el **Laboratorio Nacional de Energía Renovable**, un laboratorio nacional suscrito al Departamento de Energía.

NREL/BK-500-26224  
June 1999



Printed with a renewable-source ink on paper containing at least 50% wastepaper, including 20% postconsumer waste