



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

POWERING HEALTH

OPCIONES DE ELECTRIFICACIÓN PARA CENTROS DE SALUD DE ZONAS RURALES



POWERING HEALTH

OPCIONES DE ELECTRIFICACIÓN PARA CENTROS DE SALUD DE ZONAS RURALES

“Trabajamos con un hospital de distrito en Ruanda que casi siempre funciona sin agua ni electricidad. Tienen un generador grande, pero carecen de dinero para usarlo todo el día. No pueden usar los equipos de laboratorio ni de radiografía sin encender el generador. El teléfono es alimentado por un panel solar pequeño que tiene una batería deficiente; si el día está nublado, el teléfono se desconecta. La iluminación es mínima”.

– Jeroen van’t Pad Bosch, Elizabeth Glaser Pediatric AIDS Foundation

Índice de contenidos

Información general breve sobre objetivos y prioridades.....	1
I. Energía confiable: la condición previa para el éxito.....	3
II. Comprensión de las necesidades de energía en general.....	4
III. Opciones para generar energía.....	10
IV. Sostenibilidad del sistema.....	22
Apéndice A: identificar la categoría de su clínica de atención de salud.....	25
Apéndice B: calcular el uso de energía	27
Notas.....	28
Glosario.....	30
Estudio de caso I: evaluación de opciones para generar energía.....	32
Estudio de caso II: proyecto de electrificación y provisión de agua para el hospital de Kalungi.....	34
Agradecimientos.....	37

Información general breve sobre objetivos y prioridades

La electricidad es un producto de consumo básico que cada vez más se ha convertido en un elemento esencial en los centros de atención de salud de las zonas alejadas. Las mejoras recientes en la distribución de las vacunas y de otros insumos que dependen de una cadena de frío, además de la presión mundial para

“Los problemas de energía generan dificultades en los programas de tratamiento o favorecen la incapacidad para usar de manera confiable los artefactos eléctricos, como los equipos del laboratorio. Para aquellos lugares que dependen de generadores, ninguno informó que podía tener los generadores en funcionamiento durante períodos prolongados debido al gasto y la dificultad para obtener el combustible o la falta de mecánicos locales que mantuvieran los motores en funcionamiento”.

– Eddie Kariisa, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Ruanda

distribuir medicamentos antirretrovíricos y servicios a los pacientes portadores de VIH en todo el mundo, presentaron exigencias nuevas de electricidad en lugares que no tienen acceso a energía eléctrica confiable o dicho acceso es muy escaso. Los refrigeradores y las herramientas electrónicas de diagnóstico son parte del estándar de atención de salud en muchas clínicas de áreas rurales de todo el mundo. *Powering Health* es un recurso para profesionales de la salud que buscan electrificar los centros de atención de salud que actualmente carecen de energía o para garantizar la

provisión de energía sin interrupciones a instalaciones que están conectadas a una red pública de energía poco confiable. La información que se proporciona intenta ayudar al usuario a evaluar las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de energía con un enfoque en las soluciones adecuadas y las consideraciones especiales para los hospitales y centros de atención de salud que no tienen conexión a la red pública.

Powering Health se encarga de las siguientes áreas específicas:

- * Medición de la demanda de energía: sugerencias sobre la confección de un inventario de equipos médicos y de otro tipo para determinar un cálculo de las necesidades energéticas del centro de salud.
- * Comprensión de las opciones de energía: descripción breve de los sistemas de energía solar, eólica, de motor oscilante e híbridos.
- * Selección de un sistema de energía: factores que determinan la elección de un sistema, que incluyen las dimensiones de las instalaciones, el nivel de atención, el presupuesto, la disponibilidad de recursos y la ubicación geográfica.
- * Inversiones sustentables: opciones de mantenimiento y planificación financiera para garantizar sostenibilidad a largo plazo y confianza en el sistema de energía del centro de salud.

Se aconseja a los lectores que consulten con especialistas para obtener el espectro completo de información necesaria a fin de satisfacer sus necesidades energéticas de la manera más confiable y económica. Se incluyen cifras representativas de costos con fines ilustrativos, pero los precios reales pueden variar de manera considerable en diferentes regiones. Se analizan las necesidades de mantenimiento básico para las distintas tecnologías, pero esta guía no es un manual de usuario. En todos los casos, los funcionarios de desarrollo internacional y el personal de la clínica deben analizar las necesidades específicas de las instalaciones y estudiar las opciones energéticas con los especialistas en energía y los contratistas locales.

I. Energía confiable: la condición previa para el éxito

Los profesionales de la salud de clínicas rurales deben enfrentar dificultades inesperadas que se presentan diariamente. La infraestructura deficiente puede demorar la entrega de insumos médicos fundamentales y las inclemencias del tiempo dificultan el acceso de los pacientes a la clínica. Una fuente de energía poco confiable se suma a estos desafíos. Si la cadena de frío no funciona cuando llegan los insumos, las vacunas, la sangre y demás medicamentos pueden convertirse en desechos. Si una clínica carece de luces, los pacientes que acuden de noche, deben esperar hasta la mañana para recibir atención. La selección de la fuente adecuada de energía confiable y sustentable ayuda a aliviar algunas de estas dificultades inherentes al funcionamiento de un centro de atención de salud de los países en vías de desarrollo.

Un enfoque escalonado para electrificar el centro de atención de salud

1. Identifique las demandas de energía actuales del centro de atención de salud.
Use su información específica para completar el cuadro en blanco que está en la parte posterior de este material.
2. Tenga en cuenta los cambios a corto plazo.
Determine si sus demandas de energía cambiarán en el corto plazo.
3. Establezca el objetivo de kWh/día.
Use su información específica para completar el cuadro en blanco que está en la parte posterior de este material.
4. Determine las tecnologías necesarias para cumplir con este objetivo.
Evalúe las tecnologías energéticas.
5. Obtenga un sistema, diseñelo e instale la tecnología.
Seleccione la tecnología de energía más adecuada.
6. Mantenga y financie la tecnología de energía.
Establezca mecanismos de financiamiento que contemplen las necesidades y los costos de funcionamiento y mantenimiento.

Recuerde comunicarse con un especialista para la evaluación, el diseño del sistema, la obtención, la instalación y el mantenimiento de las tecnologías de energía.

II. Comprensión de las necesidades de energía en general

Cuando se considera el tipo de electrificación necesario para respaldar el funcionamiento diario, un centro de salud primero debe conocer sus necesidades básicas. La evaluación de las necesidades incluirá un inventario de los tipos de equipos usados en las instalaciones y la energía requerida para que funcione cada dispositivo. La comprensión de la “carga diaria” promedio o la cantidad de energía requerida para que los equipos funcionen en condiciones normales condicionará la elección del suministro de energía. Una vez que se establecen los requisitos de energía, se puede tener en cuenta una variedad de opciones de electrificación. Entender cuáles son las necesidades proporcionará a los administradores un presupuesto realista para obtener, instalar y mantener el sistema nuevo.

Cálculo de las necesidades de energía de su centro de atención de salud

Los apéndices A y B pueden usarse para ayudar a los profesionales de la salud a identificar las demandas energéticas generales de sus instalaciones y satisfacer esa demanda con una solución de electrificación adecuada. El apéndice A, *Identificar la categoría de su clínica de atención de salud* proporciona cálculos de consumo energético para los equipos usados con más frecuencia en diferentes tipos de instalaciones de salud. En el apéndice B, el cuadro *Calcular el uso de energía* se puede usar para adaptar la información del apéndice A a un centro de salud específico. Después de completar el cuadro con los datos específicos, obtendrá un cálculo de la demanda de energía general de su centro de salud. Esta información, además de la consulta con un especialista, ayudará en la selección de la tecnología de electrificación adecuada.

Pensamiento estratégico: adaptarse al cambio

Una vez que el centro de atención de salud analizó de manera integral los requisitos de energía del funcionamiento diario, debe determinar si esas exigencias pueden cambiar. Los administradores deben pensar estratégicamente sobre la posibilidad de que las demandas de energía aumenten debido al incremento de pacientes, la ampliación de las horas de atención o la incorporación de servicios nuevos. Luego de que se haya completado este proceso y se hayan tenido en cuenta las necesidades, el administrador puede determinar las diferentes opciones de energía para satisfacer esas demandas. Estas alternativas deben considerarse según todas las variables específicas de las instalaciones.

Categorización de las clínicas de atención de salud

La siguiente sección describe varios tipos de centros de salud. Las demandas energéticas de un centro de salud serán un componente fundamental en la elección de la tecnología de electrificación más adecuada. *Tenga en cuenta lo siguiente: estas descripciones se proporcionan como pautas comparativas generales y no son particulares de ningún centro de salud.*

Puestos sanitarios

Los puestos sanitarios son los centros de salud más básicos y pequeños. Por lo general, estos lugares carecen de un médico o personal de enfermería permanente entre el personal. Un puesto sanitario puede tener un proveedor de atención médica primaria de tiempo completo o medio tiempo. Los servicios disponibles en los puestos de salud incluyen el tratamiento de enfermedades leves, la atención de lesiones secundarias y, en los que casos que se puede, la provisión de servicios básicos de vacunación. Debido al uso de equipos médicos limitados, la demanda general de energía de los puestos de salud es relativamente baja. Las exigencias de energía de un puesto sanitario podrán solucionarse con las opciones de electrificación para una *clínica de atención de salud de categoría I*, mientras se tiene en cuenta la demanda diaria reducida de energía.

Clínicas de atención de salud

Las clínicas de atención de salud, por lo general son más grandes que los puestos sanitarios y cuentan con uno o más empleados de enfermería de tiempo completo. Estas instituciones también pueden contar con un médico de medio tiempo, según sea el tamaño de la infraestructura y la ubicación. Una clínica de atención de salud ofrece una variedad más amplia de servicios, comparada con un puesto sanitario, y tendrá más equipos que permiten realizar diagnósticos más sofisticados. En general, las clínicas de atención de salud de zonas rurales corresponden a una de estas tres categorías (*categorías I, II y III*), según el tipo y la cantidad de equipos médicos que se usan en las instalaciones y la frecuencia diaria de uso. Los recursos locales posibilitan que las opciones energéticas específicas sean más o menos ventajosas en cada lugar. Las categorías se enumeran en la página seis.

Otros tipos de centros de atención de salud que requieren de electrificación confiable y sustentable son los bancos de sangre, las farmacias y los laboratorios autónomos, y las clínicas para tratamientos antirretrovíricos (ARV). Según sea su envergadura, los bancos de sangre, los laboratorios autónomos y las farmacias utilizarán equipos similares a los que se encuentran en las *clínicas de atención de salud de categoría I* y las necesidades energéticas serán parecidas. Las clínicas que ofrecen tratamientos ARV tendrán exigencias energéticas importantes, como las que se observan en una *clínica de atención de salud de categoría III* o superior. Los requerimientos de energía pueden ser grandes para algunas clínicas que proporcionan tratamientos ARV debido a la tecnología computarizada y los equipos complementarios que se necesitan para realizar análisis de sangre en poco tiempo.

La *Tabla 1: necesidades energéticas de una clínica de atención de salud*, que está en la

página ocho, ilustra el costo estimado de diferentes tecnologías de energía para una variedad de tamaños de clínicas. En general, las opciones de energía renovable (p. ej., un sistema fotovoltaico [FV]) tendrán un costo de capital de inversión más grande que las opciones de generación de electricidad con diésel y otro combustible. No obstante, a largo plazo, los sistemas de energía renovables tendrán costos operativos más bajos y producirán menos emisiones o ningún tipo de emisión hacia el medio ambiente. En los sistemas de energía renovable, el mantenimiento de las baterías, la limpieza esporádica y la prevención de robos serán los costos recurrentes más significativos. Un sistema híbrido que use una fuente de energía alternativa (p. ej., un sistema FV) y un generador tradicional (p. ej., diésel) tendrá un costo de inversión inicial más alto que un sistema que sea sólo de energía renovable; sin embargo, los sistemas híbridos proporcionan más flexibilidad, que incluye la capacidad de que un sistema respalde a otro. En la página ocho, en la *tabla I*, se muestra un sistema híbrido diésel/FV a modo ilustrativo. Los precios reales en un lugar determinado pueden variar considerablemente de aquellos que se muestran en la tabla.

Clínica de atención de salud de categoría I (necesidades energéticas bajas, de 5 a 10 kWh/día)

- * Por lo general, está ubicada en un lugar alejado, presta servicios limitados y el personal es escaso.
- * Cuenta con una cantidad aproximada de 60 camas.
- * La energía eléctrica se necesita para:
 - la iluminación de las instalaciones durante la noche y los procedimientos quirúrgicos limitados (p. ej., suturas);
 - mantenimiento de la cadena de frío para vacunas, sangre y otros insumos médicos; es probable que se usen uno o dos refrigeradores;
 - uso de los equipos básicos de laboratorio: un centrifugador, mezclador de sangre, microscopio, incubadora y aspirador manual.

Clínica de atención de salud de categoría II (necesidades energéticas moderadas, de 10 a 20 kWh/día)

- * Cuenta con una cantidad aproximada de 60 a 120 camas.
- * Los equipos médicos son similares a los de un clínica de categoría II; la frecuencia de uso y la cantidad de equipos son factores clave de diferenciación entre las clínicas de atención de salud de categoría I y II.
- * Se pueden usar diferentes refrigeradores para conservar alimentos y la cadena de frío de otros insumos.
- * Es posible utilizar equipos de comunicación, como una radio.
- * Admite equipos médicos de diagnóstico más sofisticados y se pueden realizar procedimientos quirúrgicos más complejos.

Clínica de atención de salud de categoría III (necesidades energéticas altas, de 20 a 30 kWh/día)

- * Cuenta con una cantidad aproximada de 120 camas o más.
- * Puede funcionar como un centro regional de derivaciones y coordinar la comunicación entre varios centros de atención de salud más pequeños y hospitales de ciudades más grandes.
- * Es probable que necesite comunicarse con centros de atención de salud y hospitales alejados por medio de un teléfono, equipo de fax, computadora e Internet.
- * Tal vez cuenta con equipos de diagnóstico sofisticados (equipo radiográfico, contadores de CD4, equipos para determinar grupos sanguíneos, etc.) que requieren de energía adicional.

Para obtener una lista de ejemplo de los equipos y requisitos energéticos relacionados de las diferentes categorías de clínicas de atención de salud, consulte el apéndice A. Se asume que la refrigeración, la iluminación y las computadoras tienen eficiencia energética; todos los demás equipos que se enumeran son estándar (sin eficiencia energética). La lista de equipos y los requisitos energéticos representados en el apéndice A son una semejanza para que el lector tenga una referencia breve que le permita comprender mejor la información que se presenta a continuación.

Tabla I: necesidades energéticas de una clínica de atención de salud

5 kWh/ DÍA				
Tecnología	Capacidad del sistema	Capital de inversión (\$)	Funcionamiento (\$/año)	Parámetros de FyM
Sistema fotovoltaico (FV) solar con baterías	Paneles de 1.200 W; baterías de 20 kWh	Valor del sistema \$12.000; valor de las baterías \$2.000	\$500	1% del costo del sistema por año (incluye mantenimiento y cambio de componentes; no incluye seguro); costo amortizado del cambio de baterías cada 5 años (20% del costo de la batería)
Turbina eólica con baterías	Turbina de 1.750 W; baterías de 20 kWh	Valor del sistema \$10.000; valor de las baterías \$2.000	\$600	2% del costo del sistema por año; costo amortizado del cambio de baterías cada 5 años
Generador con motor diésel	2,5 kW	\$2,000	\$1,400	Mantenimiento a \$0,0075/kWh; combustible a \$0,67/kWh (\$1/litro por combustible consumido); funcionamiento a 4 kWh por día al 50% de la capacidad, y cambio de motor cada 10 años
Sistemas híbridos	Paneles de 1.200 W; baterías de 10 kWh; motor de 500 W	Sistema FV de \$12.000; baterías de \$1.000; generador de \$500	\$450	1% de costo del sistema FV por año; cambio de batería cada 5 años; 200 horas de funcionamiento del motor por año; cambio de motor cada 10 años
Extensión de la red pública	n/c	\$10.000 más por milla	\$200	\$0,10/kWh de potencia

15 kWh/DÍA				
Tecnología	Capacidad del sistema	Capital de inversión (\$)	Funcionamiento (\$/año)	Parámetros de FyM
Sistema fotovoltaico (FV) solar con baterías	Paneles de 3.600 W; baterías de 60 kWh	Valor del sistema \$36.000; valor de las baterías \$6.000	\$1,550	Igual que las opciones anteriores
Turbina eólica con baterías	Turbina de 5.250 W; baterías de 20 kWh	Valor del sistema \$28.000; valor de las baterías \$6.000	\$1,750	Igual que las opciones anteriores
Generador con motor diésel	2,5 kW	\$2,000	\$3,900	Igual que las opciones anteriores; funcionamiento a 15 kWh por día al 50% de la capacidad
Sistemas híbridos	Paneles de 3.500 W; baterías de 30 kWh; motor de 1,5 kW	Sistema FV de \$35.000; baterías de \$3.000; generador de \$1.000	\$1,350	Igual que las opciones anteriores con 200 horas de funcionamiento de motor por año
Extensión de la red pública	n/c	\$10.000 más por milla	\$550	Igual que las opciones anteriores

25 kWh/DÍA				
Tecnología	Capacidad del sistema	Capital de inversión (\$)	Funcionamiento (\$/año)	Parámetros de FyM
Sistema fotovoltaico (FV) solar con baterías	Paneles de 6.000 W; baterías de 100 kWh	Valor del sistema \$55.000; valor de las baterías \$10.000	\$2,550	Igual que las opciones anteriores
Turbina eólica con baterías	Turbina de 8.750 W; baterías de 100 kWh	Valor del sistema \$44.000; valor de las baterías \$10.000	\$2,900	Igual que las opciones anteriores
Generador con motor diésel	2,5 kW	\$2,000	\$6,400	Igual que las opciones anteriores; funcionamiento a 15 kWh por día al 67% de la capacidad
Sistemas híbridos	Paneles de 6.000 W; baterías de 50 kWh; motor de 2,5 kW	Sistema de \$55.000; baterías de \$5.000; generador de \$1.600	\$2,200	Igual que las opciones anteriores con 200 horas de funcionamiento de motor por año
Extensión de la red pública	n/c	\$10.000 más por milla	\$900	Igual que las opciones anteriores

Eficiencia energética: reducir uso y costos

Como lo indica la tabla que está a continuación, un centro de atención de salud puede reducir drásticamente sus demandas de energía con artefactos y equipos con eficiencia energética. Por lo general, estos tipos de dispositivos son más costosos que los modelos de eficiencia estándar. No obstante, este costo más alto generalmente se recupera por medio de la reducción del capital de inversión y los costos de funcionamiento para un sistema de generación de electricidad más pequeño.

Descripción	Necesidad o consumo de energía de un modelo de alta eficiencia	Necesidad o consumo de energía de un modelo de eficiencia estándar
Computadora	De 15 W a 20 W (computadora portátil)	De 40 W a 80 W (computadora de escritorio sin monitor)
Monitor de computadora	30 W (monitor LCD de 15")	De 65 W a 120 W (monitor CRT de 15" a 21")
Lámpara eléctrica	15 W (lámpara fluorescente compacta)	60 W (incandescente con resultado comparable de luz)
Refrigerador/Congelador	800 Wh/día	De 1.800 Wh/día a 2500 Wh/día

La instalación de equipos más eficientes es un componente importante para la conservación de la energía, pero las prácticas adecuadas de administración son igualmente importantes. Dichas prácticas incluyen el mantenimiento adecuado de los equipos, el aislamiento de las áreas calefaccionadas o refrigeradas, el apagado de luces o equipos siempre que sea posible, y el control del consumo de energía. Todo el personal de los centros de atención de salud debe conocer a la perfección las medidas que se implementan para satisfacer las necesidades energéticas y se los debe motivar para que ayuden a conservar la energía.

III. Opciones de generación de energía

Después de determinar el uso de energía diario habitual del centro de atención de salud, es momento de evaluar las tecnologías energéticas disponibles para electrificar las instalaciones. Las clínicas de atención de salud de zonas rurales tienen una cantidad de opciones disponibles para proporcionar electricidad confiable. La mejor opción para una aplicación determinada depende de varios factores y, en algunos casos, una combinación de medidas puede ser la mejor solución.

Algunos factores que se deben tener en cuenta son:

- * Confiabilidad de la red pública local
- * Recursos locales de energía renovable (energía eólica, solar, de biomasa)
- * Costo y disponibilidad local de recursos convencionales de energía (diésel, propano, gasolina)
- * Disponibilidad local de sistemas, piezas, empresas de servicio técnico y técnicos
- * Políticas e incentivos del gobierno
- * Requisitos de confiabilidad del sistema
- * Capacidad técnica y fondos para el mantenimiento y cambio del sistema
- * Consideraciones especiales o características operativas deseadas, por ejemplo ruidos, emisiones, etc.

Opciones

- * Las características clave se analizan para las siguientes tecnologías/opciones:
- * Paneles fotovoltaicos (FV)
- * Energía eólica
- * Motores oscilantes (generadores)
- * Sistemas híbridos
- * Extensión de la red pública

Factores que condicionan la tecnología energética

Capital de inversión: es el costo inicial para comprar e instalar el equipo. En muchos casos, una parte de este costo puede reunirse mediante donaciones u otras formas de asistencia. Las clínicas de atención de salud deben saber que los equipos de energía, como generadores, inversores, controladores de carga y baterías, pueden tener variaciones importantes de costo y calidad. En muchos casos, los modelos de calidad superior tendrán un costo más elevado, pero permiten una gran recuperación del capital invertido porque tienen mayor confiabilidad de la energía y una vida útil del sistema más prolongada. Los costos también varían de manera considerable, según el mercado local. Es fundamental la investigación de las marcas específicas.

Costos de funcionamiento: incluyen el costo del combustible (si corresponde), funcionamiento y mantenimiento, seguridad, y piezas compradas para reparaciones. Los costos de los contratos de mantenimiento y la capacitación del personal de la clínica deben incluirse en los cálculos de los costos mantenimiento, que tendrán más variaciones que los costos de capital invertido debido a:

- * los precios del combustible durante un período determinado y de un país a otro;
- * patrones de uso; los sistemas experimentarán un momento de estrés más o menos intenso un día determinado, según la cantidad de horas de funcionamiento, la potencia que proporcionen y el tipo de cargas que se extraen del equipo (p. ej., un equipo de alta intensidad, como los equipos radiográficos en contraposición a un equipo de baja intensidad, como la iluminación).
- * Condiciones ambientales.

Duración: es el tiempo de vida útil normal del sistema que se expresa en años o (para los generadores de motor) en horas de funcionamiento.

Confiabilidad: se expresa como una fracción de tiempo en que el equipo está disponible para proporcionar energía. Periódicamente, es necesario desconectar los generadores para realizar el servicio técnico, y los sistemas de energía eólica y solar requieren de condiciones climáticas óptimas para funcionar con eficiencia máxima. En general, los sistemas pueden lograr mayor confiabilidad mediante la incorporación de componentes auxiliares, a pesar de que esta medida aumente el costo y la complejidad, en la mayoría de los casos.

Emisiones: las emisiones de los generadores incluyen agentes contaminantes que forman el esmog, materia en partículas y gases del efecto invernadero.

Para cada tecnología, existen **consideraciones especiales**, que incluyen la disponibilidad de recursos, cuestiones prácticas de implementación o funcionamiento, o riesgos y peligros asociados al equipo. Los especialistas destacan que una consideración importante y común para muchos programas de electrificación es la cooperación del gobierno de ese lugar en particular en todos los niveles. Los gastos, tales como aranceles aduaneros, permisos o tarifas de interconexión, además de las demoras asociadas con estos procesos, pueden aumentar mucho más el costo del sistema que ante otras circunstancias.

Sistemas fotovoltaicos (FV): generan electricidad a partir de la luz solar que almacenan los paneles solares. La energía recolectada de esta manera se puede usar para suministrar energía directa a equipos eléctricos, o puede almacenarse en baterías para proporcionar energía indirecta. En combinación con una batería, los sistemas FV son excelentes para administrar cargas de un tamaño pequeño a moderado en lugares donde la electricidad de la red pública no está disponible. Son muy modulares por lo que resulta fácil adaptarlos a sus necesidades y agregar unidades si aumenta la demanda de energía. Los sistemas FV son silenciosos y no generan emisiones contaminantes. Proporcionan energía de CC (corriente continua). Los inversores, que convierten la CC a CA, deben agregarse a la mayoría de los sistemas que alimentan los equipos médicos usados en clínicas de atención de salud de categoría II o superior.

Los sistemas FV se clasifican según la energía pico (en vatios o kilovatios) que pueden producir. Ese valor se multiplica por el factor de las horas de sol pico (*peak sun hours*, PSH) para determinar la energía (en kilovatios hora) que se producen por día. Un lugar óptimo de África puede recibir el equivalente de cinco o más horas de luz solar pico por día. En este caso, un sistema de 1 kW puede producir 5 kWh por día. Siempre se produce alguna pérdida de energía de salida calificada, por lo tanto, en nuestros análisis, aumentamos de manera conservadora la capacidad del sistema en un 20% por encima de la carga nominal para garantizar que los suministros de energía alcancen para satisfacer las necesidades identificadas.

Consideraciones de costo

Según la capacidad, los sistemas FV instalados pueden tener un costo de 8,00 a 12,00 dólares por vatio. No obstante, los gastos poco frecuentes, como el transporte de los módulos, los aranceles aduaneros o los gastos de permisos pueden aumentar este costo. Si el sistema no tiene otro sistema auxiliar, la batería debe tener la capacidad adecuada para proporcionar energía después de varios días de clima nublado; en consecuencia, los patrones de clima locales pueden afectar el costo general del sistema. En una configuración híbrida, las

baterías pueden ser mucho más pequeñas ya que el generador puede sustituir su función si se presentan períodos prolongados de nubes. Los paneles FV son la parte más costosa del sistema eléctrico de energía solar; en ese caso, algunas veces son objetivos de robos. Los hechos de

“Según los 121 centros de atención de salud que visitamos en Ruanda, el 49% utilizaba energía solar. La mayoría de los equipos de agua y electricidad existentes son funcionales, a excepción del equipo de energía solar; en casi un tercio (37%) de los centros de salud, el equipo de energía no era funcional en el momento del estudio debido a la falta de mantenimiento”.

-Laura Hoemeke, IntraHealth International

vandalismo también pueden ser un problema. Para cargas más grandes, el costo de capital de inversión alto se puede transformar en una opción menos atractiva si las extensiones de la red pública o el combustible para los generadores están fácilmente disponibles.

Consideraciones de mantenimiento

Los sistemas FV han sido el centro de atención de muchos esfuerzos para la electrificación en zonas rurales. En general, los paneles tienen una vida útil muy duradera (de 20 a 30 años). Lamentablemente, los programas de instalación no siempre incluyen un componente de servicio técnico suficiente. Muchos centros de salud describen experiencias con sistemas FV que tienen baterías fuera de servicio, lo que provoca, por ejemplo, que los teléfonos funcionen solo cuando brilla el sol. Es fundamental realizar el mantenimiento periódico de las baterías; deben controlarse todos los meses y completar el nivel de electrolitos, según sea necesario. Las baterías que tienen un mantenimiento adecuado deben durar varios años antes de que sea necesario cambiarlas. Si bien es esencial capacitar al personal del hospital local en el mantenimiento del sistema, un técnico profesional también debería realizar tareas de mantenimiento anuales, controlar las conexiones del cableado, tornillos de instalación y el funcionamiento del inversor.

Conocimientos aprendidos sobre el sistema FV

- * Por lo general, los sistemas FV tienen costos más altos de capital de inversión, pero costos operativos más bajos, si se comparan con otras opciones de generación de energía.
- * La disponibilidad de los componentes de reemplazo (modelo y marca) por parte de los proveedores locales debe tenerse en cuenta cuando se intenta obtener componentes del sistema inicial.
- * Las expectativas del usuario final con respecto a los sistemas de energía solar a veces son poco realistas; la enseñanza de la aplicación práctica de los sistemas solares debe estar vinculada al diseño y la instalación del sistema.
- * Los estándares nacionales para la ubicación, el diseño, la obtención, la instalación y el servicio técnico de los sistemas fotovoltaicos puede ayudar a mejorar la sostenibilidad.
- * Los sistemas FV financiados por organizaciones de beneficencia a menudo no logran resultados positivos debido a la falta de fondos para funcionamiento e infraestructura de servicio técnico a nivel local.
- * Los manuales de usuario detallados son fundamentales, especialmente en casos en que se producen muchas renovaciones de personal.
- * Tener la posibilidad de ser propietario del sistema a nivel local, que a veces se establece por medio de una contribución para el costo inicial, es esencial para la sostenibilidad del sistema.

Determinación de la disponibilidad de los recursos locales

La disponibilidad de recursos renovables es un punto de consideración clave cuando se elige la tecnología adecuada para la generación de energía. Si desea obtener más información con respecto a la disponibilidad local, consulte el siguiente material:

Régimen solar

La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA) proporciona mucha información sobre recursos solares mensuales para cualquier lugar del mundo. Estos datos incluyen el promedio de luz solar (expresado en kWh por metro cuadrado por día), la cantidad habitual de días consecutivos sin sol y la luz solar mínima que normalmente está disponible cada mes. Esta fuente de información, o una del mismo prestigio, debe consultarse cuando se diseña un sistema que tiene paneles FV.

<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Recursos eólicos

A nivel local, los recursos eólicos varían más que los recursos solares. Si en los alrededores no existen otros sistemas eólicos, el contratista debería realizar una supervisión del lugar durante varios meses antes de la instalación.

<http://www.wwindea.org/home/index.php>

<http://www.afriwea.org/>

Sistemas híbridos

La herramienta HOMER, desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (*National Renewable Energy Laboratory*, NREL) de los Estados Unidos, es de gran utilidad para diseñar y adaptar los sistemas híbridos. Dicha herramienta recupera automáticamente la información sobre el régimen solar emitida por la NASA.

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

TABLA II: Características de la tecnología energética

Tecnologías energéticas	Capital de inversión	Costo de FyM	Confiabilidad	Durabilidad	Consideraciones especiales	Emisiones	Uso óptimo	
Sistema fotovoltaico (FV) solar con baterías	Muy alto	Bajo	Alto (si tiene el mantenimiento correcto) o bajo (si carece de mantenimiento)	De 20 a 30 años (FV); 5 años (baterías)	Robo (baterías o paneles); actos de vandalismo (paneles); disponibilidad de técnicos capacitados	Ninguno	Cargas pequeñas; áreas en las que el combustible es costoso o difícil de obtener	
Turbina eólica con baterías	Alto	De bajo a moderado	Alto (si tiene el mantenimiento correcto) o bajo (si carece de mantenimiento)	20 años (turbina); 10 años (álabes); 5 años (baterías)	Robo (baterías); falta de datos sobre recursos eólicos	Ninguno	Muchas cargas moderadas con recursos suficientes	
Motor oscilante (generador)	Diésel	De moderado a alto	Alto	Alto	25.000 horas de funcionamiento	Derrames de combustible; emisiones	Muy alto	Cargas más grandes
	Gasolina	Bajo	Muy alto	Moderado	De 1 a 2.000 horas de funcionamiento	Derrames de combustible; emisiones; sustancias inflamables	Alto	Generador de emergencia
	Gas	Moderado	Alto	Moderado	3.000 horas de funcionamiento	El propano tiene disponibilidad limitada, pero puede usar biogás	Bajo	Componente en un sistema híbrido o autónomo
Sistema híbrido	Muy alto	De bajo a moderado	Muy alto	Varía; la optimización amplía mucho la duración del generador y la batería	Complejidad para el servicio técnico	Bajo	Cargas medianas y grandes	
Extensión de la red pública	Varía	Ninguno	Varía	Alto	Robo; la ampliación de la red pública permite la conexión de hogares cercanos	No local	Lugares con red pública confiable y no demasiado alejada	

Las **turbina eólicas** generan electricidad sin emisiones nocivas a partir de un recurso de energía renovable. La ubicación de una turbina eólica en un lugar requiere de la medición cuidadosa de los patrones de viento. Si bien existen muchos mapas de los recursos solares, no sucede lo mismo con los recursos eólicos. Las turbinas eólicas pequeñas están disponibles con capacidades que abarcan algunos cientos de vatios. Las turbinas más grandes ofrecen economías significativas de escala. Al igual que con los sistemas FV, las turbinas eólicas deben estar conectadas a la red pública de energía o a un sistema de baterías a fin de proporcionar energía confiable.

Consideraciones de costo

Los sistemas eólicos instalados, por lo general tienen un costo de 4,00 a 6,00 dólares por vatio, para los sistemas pequeños, y este costo por vatio disminuye sustancialmente a medida que aumenta el tamaño de la turbina. El costo del capital de inversión para este sistema es inferior a los sistemas FV de cargas moderadas a grandes. Al igual que los paneles FV, los sistemas eólicos no requieren combustible.

Consideraciones de mantenimiento

Los requisitos de mantenimiento para las turbinas dependen mucho de las condiciones locales. Debido a la presencia de piezas móviles, el mantenimiento de las turbinas eólicas es de alguna manera más exigente que para los sistemas FV. Normalmente, una turbina debería tener un control de mantenimiento cada tres meses. El mantenimiento necesario incluye la lubricación de las piezas móviles, el control de ajuste de los tornillos y conexiones eléctricas, la verificación de la tensión adecuada en las riendas de soporte y la detección de corrosión en los componentes. Por lo general, las álabes del rotor y los cojinetes necesitan un cambio después de diez años. Las turbinas pequeñas (inferiores a los 10 kW) no necesitan una caja de engranajes, que es un componente que a veces requiere de controles en sistemas más grandes.

Los **sistemas oscilantes** (generadores pequeños) son la forma más común de un generador pequeño. Un motor oscilante es parecido al motor de un automóvil ya que usa la combustión de un combustible para impulsar los pistones. En los sistemas solamente de generadores, el generador debe adaptarse para admitir la carga pico esperada, pero casi siempre el sistema funciona con cargas más bajas y a una eficiencia reducida.

Consideraciones de costo

Los generadores de motor por lo general tienen un costo bajo de capital de inversión, comparado con otras alternativas, pero tienen costos de funcionamiento más altos debido a la necesidad de combustible. El costo inicial de capital de inversión será de aproximadamente 2.000 dólares por cada 2,5 kW, pero esta cifra puede variar según la capacidad y el tipo de generador. Los costos de funcionamiento dependen del nivel de uso. Los motores ofrecen economías de escala si aumenta la capacidad, pero en general se prefiere usar unidades más pequeñas. Esto permite una oscilación de los generadores para el mantenimiento, y posibilita el uso de una o dos unidades con la carga completa, en lugar de una unidad más grande con una carga reducida. También se puede agregar un banco de baterías a un sistema de generador para reducir el tiempo de uso y ahorrar gastos de combustible.

Opciones de combustible para generadores

El **diésel** es la opción más común para un generador. Los motores diésel suelen ser más costosos que los generadores de gasolina, pero también son más confiables y tienen una duración más prolongada. La combustión de este combustible no es tan ecológica como la del propano o biogás.

La **gasolina** tiene una disponibilidad mayor y se usa en muchos generadores. Los generadores de gasolina son más económicos que los generadores diésel y están disponibles en capacidades inferiores. Por lo general, se usan como generadores auxiliares de emergencia debido a que tienen una vida útil de funcionamiento más corta.

El **propano**, en lugares donde está disponible, es otro combustible para generadores. Los generadores de propano son más silenciosos, limpios y seguros para el medio ambiente; en caso de un derrame, el propano se evapora en lugar de contaminar el lugar. Los generadores de propano se adaptan perfectamente para ser usados en un sistema híbrido con energía solar o eólica, aunque no tienen un rendimiento óptimo como única (o principal) fuente de energía. El propano también se puede usar directamente para el funcionamiento de un refrigerador. En esta aplicación, el refrigerador está diseñado para funcionar con el calor que se genera de la combustión del propano en lugar de hacerlo con electricidad. El uso de un generador de propano como parte de un sistema híbrido, y el uso de la electricidad para alimentar el refrigerador, permite más versatilidad y que una amplia variedad de artefactos puedan alimentarse con este sistema.

Consideraciones de mantenimiento

Los motores tienen varios requisitos de mantenimiento. El aceite y el filtro de aceite del motor deben cambiarse después de aproximadamente 1.000 horas de funcionamiento. Es probable que la tapa de cilindro deba ser reconstruida después de 8.000 horas, y el bloque del motor luego de 16.000 horas. El personal de las instalaciones puede examinar el generador todos los días para detectar pérdidas de combustible, aceite o refrigerante. El área que rodea al generador no debe tener escombros que planteen un riesgo o dificulten el acceso. Los niveles de aceite y refrigerante deben controlarse todas las semanas. Los profesionales técnicos deben encargarse de realizar verificaciones más minuciosas todos los meses, cada seis meses y doce meses. Estos controles de mantenimiento serán diferentes debido al diseño del motor y su ciclo de trabajo (si es una fuente de energía principal o una unidad de emergencia de apoyo).

El conocimiento para realizar el servicio técnico en generadores diésel y gasolina es extenso porque las unidades son parecidas, pero no idénticas, a los motores de los automóviles. En algunos casos, puede ser complicado obtener repuestos para los generadores.

Conocimientos aprendidos sobre el motor oscilante

- * Por lo general, los motores oscilantes tienen costos más bajos de capital de inversión, pero los gastos de funcionamiento son más altos cuando se comparan con tecnologías renovables.
- * La disponibilidad del combustible y los costos son puntos de consideración clave para esta tecnología.

Los **sistemas híbridos** emplean varias tecnologías diferentes. Un sistema puede incluir paneles fotovoltaicos, una turbina eólica, baterías y un generador. Si se cuenta con recursos de energía solar y eólica, en raras ocasiones este sistema debería basarse en un generador. Ya que el generador puede recargar las baterías durante períodos prolongados de clima desfavorable, el banco de baterías en un sistema híbrido puede ser significativamente más pequeño que un sistema de batería FV, y tal vez solo necesite almacenar uno o dos días de energía. El ciclo de trabajo de baja intensidad extiende la duración del generador.

Consideraciones de costo

El costo del capital de inversión de un sistema híbrido es mucho más alto que el de un sistema que usa solamente generadores de propano (o generadores diésel); no obstante, el sistema híbrido evidencia ahorros significativos durante una vida útil de 20 años, principalmente debido a ahorros en costos de mantenimiento y combustible. La duración de un generador en un sistema híbrido se extiende porque no tiene que funcionar con mucha frecuencia. Cuando se tienen en cuenta los ahorros de emisiones nocivas, los beneficios del sistema híbrido son aun más evidentes. Para obtener una explicación más detallada, consulte el *Estudio de caso I: evaluación de opciones para generar energía*.

Consideraciones de mantenimiento

Para los sistemas híbridos, se recomienda un control mensual. El generador no está diseñado para un uso constante dentro de un sistema híbrido, pero aun así, requiere de una verificación periódica. Un programa de mantenimiento periódico también ayudará a que el personal se mantenga familiarizado con el funcionamiento adecuado del sistema.

Conocimientos aprendidos sobre el sistema híbrido

- * Los sistemas híbridos (que incluyen la energía renovable, las baterías y los generadores auxiliares) son una opción posible para muchas cargas de medianas a grandes.
- * Los costos reducidos de funcionamiento compensarán paulatinamente los costos iniciales del capital de inversión.
- * El aumento de la complejidad de los sistemas híbridos requiere de programas responsables de mantenimiento y de técnicos capacitados.

Las **extensiones de red** conectan a las instalaciones con la red eléctrica de servicios públicos. Esto implica instalar líneas en lo que para muchas clínicas de zonas rurales es prácticamente un terreno complicado. Las extensiones de red tienen diferentes costos, según el servicio público, las características del terreno, la distancia que se debe cubrir y la capacidad de la carga que cubrirá. Si la red local es bastante confiable y se encuentra a pocas millas de distancia, la obtención de un cálculo del capital de inversión de la extensión de la red y los costos recurrentes de electricidad proporcionarán puntos de comparación cuando se tengan en cuenta estas opciones. No obstante, si la red de electricidad no es tan confiable, entonces se necesitará alguna forma de energía auxiliar a pesar de tener una extensión de la red.

Consideraciones de costo

Es normal que una extensión de red tenga un costo alto de capital de inversión, pero ofrece varias ventajas. Primero, en la mayoría de los casos, el costo varía sólo un poco con la capacidad de la carga que se debe satisfacer. Esto plantea una opción no conveniente, desde el plano económico, para las cargas pequeñas, pero una opción mejor para las cargas más grandes. Segundo, una vez que la red se extendió hacia la clínica, puede admitir otras cargas locales. Tercero, el funcionamiento y el mantenimiento son responsabilidad de la empresa de servicios públicos.

Componentes clave de los sistemas FV, eólico y de otro tipo

Baterías

Las baterías no son una tecnología energética, pero son un medio para almacenar la energía producida por otros sistemas. Con cierta frecuencia, se usan junto con sistemas fotovoltaicos o eólicos, y pueden utilizarse también en otros sistemas. Las baterías de plomo tienen mayor disponibilidad en el mercado y son relativamente económicas; sin embargo, tienen una duración corta comparadas con las alternativas más nuevas. Es necesario llenar periódicamente los electrolitos de estos dispositivos con agua destilada (el agua corriente de red puede contener minerales nocivos para el rendimiento y la duración de las baterías). Los niveles de electrolito deben controlarse todos los meses, y por lo general, es necesario tener agua nueva aproximadamente cada tres meses, aunque esto varía según las condiciones locales.

Para algunas clínicas que están conectadas a la red, las baterías se pueden usar para proporcionar energía auxiliar durante los cortes de servicio. No obstante, si no hay energía en la red durante un período prolongado, sería útil tener algún otro sistema para recargar las baterías. La duración de las baterías depende, en parte, de los ciclos de uso (carga y descarga) que experimenten, pero incluso aquellas no tienen un uso tan exigente, sufrirán el deterioro con el paso del tiempo.

El mantenimiento de las baterías es bastante simple y no implica demasiado tiempo, pero es fundamental. Las placas de la batería deben permanecer sumergidas en el ácido y no pueden quedar expuestas al aire, de lo contrario, se pueden producir daños en el sistema. Ya que solamente el agua se evapora de la batería, es lo único que debe reponerse (a menos que se produzca un derrame). Los centros de atención de salud deben presupuestar los gastos y el transporte asociados a la adquisición del agua destilada. El exceso de calor también puede acortar la duración de la batería. En general, tienen una vida de aproximadamente años.

Es importante tener en cuenta el desecho de las baterías cuando finalice la vida útil del sistema. Las baterías de plomo contaminan las fuentes de agua subterránea si no se desechan correctamente. Una opción preferible es el reciclado en un centro que tenga una actitud responsable con el medio ambiente.

Inversor

Un inversor es un componente de cualquier sistema que incluya paneles FV o baterías, y se usa para convertir corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), que a veces se necesita en determinados equipos médicos. Los inversores tienen diferentes necesidades de mantenimiento, según su diseño. Deben supervisarse para determinar que funcionen correctamente por lo menos cada tres meses o con más frecuencia. Al igual que con las baterías, los inversores se mantienen mejor a una temperatura moderada. En muchos casos, el cambio de las piezas no estará disponible en el mercado local y será necesario realizar el pedido a los fabricantes.

Controlador de carga

Un controlador de carga regula la tensión y la corriente que llegan de los paneles solares (de las turbinas eólicas o el generador) a la batería para evitar una sobrecarga o un exceso de descarga. La mayoría de los controladores modernos mantienen la regulación de tensión del sistema de manera electrónica mediante la variación de amplitud de los pulsos de CC que se envían a las baterías. Cuanto más amplio es el pulso, más energía ingresa a las baterías.

IV. Sostenibilidad del sistema

Importancia del mantenimiento

- * El mantenimiento periódico y oportuno de todos los equipos de electrificación es fundamental para el funcionamiento adecuado del equipo.
- * El mantenimiento de rutina, además de las revisiones de mayor envergadura y la renovación de equipo, debe planificarse y presupuestarse por anticipado.
- * En última instancia, la falta de mantenimiento tendrá un impacto negativo en la confiabilidad del suministro de energía.
- * Los problemas de mantenimiento a veces se pueden prevenir de manera sencilla, pero casi siempre se pasan por alto.
- * Los generadores auxiliares de emergencia deben controlarse periódicamente aunque se usen en raras ocasiones.
- * El mantenimiento inadecuado o insuficiente puede generar gastos sustanciales futuros.

El mantenimiento periódico justifica el costo y los programas de instalación de sistemas de energía en las clínicas de atención de salud y en otras instalaciones deben garantizar el compromiso a prestar servicio técnico al sistema. Los especialistas recomiendan la capacitación del personal local en las tareas de servicio técnico de estos sistemas o la obtención de un contrato de mantenimiento a largo plazo.

Opciones innovadoras de financiamiento

Los administradores de la clínica deben desarrollar una manera sustentable de pagar el mantenimiento y el funcionamiento del sistema para asegurar la continuidad de las operaciones de las instalaciones. Los centros de atención de salud deben tener en cuenta la incorporación de las estructuras financieras innovadoras que se describen a continuación en sus prácticas financieras y operativas.

Tarifas de usuario

Un sistema de “tarifa de usuario” implica la elaboración del costo de energía dentro del costo general de los servicios médicos, y el traslado de ese costo al paciente. La mayoría de las clínicas de atención médica de las áreas rurales luchan para garantizar los fondos suficientes de funcionamiento debido a la imposibilidad de trasladar los costos verdaderos de los servicios médicos a los usuarios que carecen de medios para pagar los costos reales. La carencia de fondos de los pacientes para pagar, junto con la dificultad de administrar la recaudación y el desembolso de fondos, hacen que este método sea difícil de implementar.

Venta de exceso de electricidad

La venta de exceso de electricidad ofrece un método alentador para financiar el funcionamiento. Mediante la instalación de un sistema con exceso de capacidad, los ingresos de la venta de la energía adicional pueden compensar una parte, o la totalidad, de los costos operativos del sistema.

A granel (por mayor)

Si se hace funcionar al sistema de energía como una pequeña empresa, el exceso de electricidad se puede vender a los pueblos, fábricas, escuelas u otras

instalaciones cercanas. La capacidad del sistema debe adaptarse tanto a una clínica, como a una base potencial de clientes. Los clientes deben estar cerca del sistema o los costos de transmisión encarecen rápidamente este método y lo convierten en un gasto prohibitivo. Los requisitos de mantenimiento también son más complejos.

“La clínica de atención de salud Center de Sainte Bushara de Ruanda atiende a una población de casi 21.000 personas y brinda tratamiento a un promedio de 1.300 pacientes todos los meses. Sus sistemas de 14 paneles FV se usan para proporcionar iluminación, refrigeración y energía para algunos equipos de diagnóstico del centro. El financiamiento del hospital depende, en gran medida, de una cooperativa de salud de la comunidad. Cada año, los residentes locales pagan 3.500 francos ruandeses a la cooperativa y luego, reciben tratamiento gratuito si necesitan servicios médicos. Una parte de ese dinero se presupuesta para mantenimiento y renovación de los sistemas FV”.

Fuente: Solar Light for Africa, 2006

electricidad por medio de las líneas de transmisión, la clínica puede venderla en sus instalaciones o a otras que estén cerca. Se puede establecer una estación de energía con tarifas según la cantidad de energía usada, si fuera posible medir el uso, o según el tiempo. Para los clientes con dispositivos portátiles, como herramientas portátiles, se puede instalar una pequeña área de trabajo con tomacorrientes junto a la estación de energía donde los usuarios pueden conectar sus equipos. Los habitantes pueden usar estas áreas para actividades que les generen ingresos.

Tal vez sea posible establecer una “pequeña zona industrial” cerca del sistema de energía de la clínica de manera que exista un área con talleres permanentes (costura, tejido o reparaciones) o tiendas. La clínica podría producir un ingreso a partir del alquiler de los espacios para talleres o tiendas, la venta de la electricidad y una bomba de agua.

Administración institucional

El establecimiento de una entidad que tenga una participación en el funcionamiento exitoso constante del sistema es fundamental para generar un sentido de propiedad que permita el funcionamiento ininterrumpido del sistema. Los sistemas innovadores de

Venta desde el punto de uso (por menor)

Cuando los potenciales compradores de energía están demasiado alejados para recibir la

financiamiento deben administrarse de manera adecuada mediante organizaciones y personas que usen la energía y la paguen.

Las estructuras de administración incluyen la administración existente de la clínica, los pueblos o las instalaciones cercanas o una organización nueva dedicada a proporcionar la supervisión del sistema de energía, como una cooperativa entre pueblos. La cooperativa puede incluir un acuerdo con la clínica para administrar cualquiera de los acuerdos de financiamiento descritos previamente. El nivel de responsabilidad de la cooperativa puede abarcar desde el funcionamiento y la administración total del sistema hasta el simple registro de usos y pagos.

Resumen

Esta publicación presentó las cuestiones fundamentales que deben considerarse cuando se contemplan las necesidades energéticas de instalaciones de atención de salud de áreas rurales sin conexión a la red. Los profesionales de la salud que investigan opciones para mejorar los servicios de energía en los centros de atención de salud deben recordar los siguientes aspectos:

- * Existen muchas opciones de electrificación disponibles y cada una tiene ventajas y desventajas que deben analizarse con atención en un contexto específico.
- * Los sistemas de generación de energía deben diseñarse para satisfacer las necesidades específicas del centro de atención de salud.
- * La compra de tecnologías inadecuadas, los sistemas estándar que no tienen la capacidad correcta, y la falta de atención a los programas de mantenimiento puede repercutir en los gastos y generar deficiencias en el sistema.
- * Los sistemas híbridos (que incluyen la energía renovable, las baterías y los generadores de combustibles fósiles) son una opción posible para muchas cargas de medianas a grandes.
- * La venta del exceso de electricidad (o el bombeo de agua potable) ofrece un enfoque alentador para los centros de atención de salud con el fin de financiar los costos de funcionamiento y mantenimiento.

Independientemente de si se diseña un programa nacional de acondicionamiento de las instalaciones de un centro de atención de salud o si se elige la tecnología adecuada para un lugar específico, se alienta encarecidamente a los lectores a buscar asesoramiento independiente de especialistas. Este tipo de asesoramiento ayuda a garantizar que un sistema esté diseñado de manera correcta y que cuente con las medidas preventivas para asegurar la sostenibilidad.

Apéndice A: identificar la categoría de su clínica de atención de salud

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1.000
Consumo de energía y potencia para un clínica de atención de salud de categoría I		Cantidad	Energía (vatios)	Total de vatios	Tiempo con tensión (horas/día)	Vataje (horas/día)	kWh/día
Descripción del dispositivo	Refrigerador/congelador de vacunas	1	60	60	6,0 - 12,0	360 - 720	0,36 - 0,72
	Refrigerador pequeño (no de uso médico)	1	300	300	5.0	1,500	1.5
	Centrifugador	1	575	575	1,0 - 1,5	575 - 862,5	0,575 - 0,8625
	Mezclador de sangre	1	28	28	1,0 - 1,5	28 - 42	0,028 - 0,042
	Microscopio	1 - 2	15	15 - 30	3,0 - 4,0	45 - 120	0,045 - 0,12
	Iluminación	2	10	20	40219.0	40 - 200	0,040 - 0,2
	Incubadora	1	400	400	2,0 - 12,0	800 - 4.800	0,8 - 4,8
	Baño de María	1	1,000	1,000	1,0 - 2,0	1.000 - 2.000	1 - 2
	Radio VHF para comunicaciones	1					
	Modo de espera		2	2	12.0	24	0.024
	En transmisión		30	30	1,0 - 2,0	30 - 60	0,030 - 0,060
	Total :				2.430 - 2.445		4.402 - 10.328,5

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1.000
Consumo de energía y potencia para un clínica de atención de salud de categoría II		Cantidad	Energía (vatios)	Total de vatios	Tiempo con tensión (horas/día)	Vataje (horas/día)	kWh/día
Descripción del dispositivo	Refrigerador/congelador de vacunas	2	60	120	6,0 - 12,0	720 - 1.440	0,72 - 1,44
	Refrigerador pequeño (no de uso médico)	1	300	300	5.0	1,500	1.5
	Centrifugador	1	575	575	2.0	1,150	1.15
	Mezclador de sangre	1	28	28	2.0	56	0.056
	Microscopio	2	15	30	5.0	150	0.15
	Iluminación	2 - 3	15	30 - 45	10.0	300 - 450	0,3 - 0,45
	Autoclave (de laboratorio)	1	1,564	1,564	1.0	1,564	1.564
	Incubadora	2	400	800	2,0 - 12,0	1.600 - 9.600	1,6 - 9,6
	Baño de María	1	1,000	1,000	2.0	2,000	2
	Radio VHF para comunicaciones	1					
	Modo de espera		2	2	12.0	24	0.024
	En transmisión		30	30	2,0 - 3,0	60 - 90	0,060 - 0,090
	Computadora	1-3					
	Modo de ahorro de energía		50	50 - 150	7.0	350 - 1.050	0,35 - 1,05
	En uso		150	150 - 450	5.0	750 - 2.250	0,750 - 2,25
Impresora	1	65	65	3.0	195	0.195	
Total :				4.744 - 5.159		10.569 - 21.519	10,6 - 21,5

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1.000
Descripción del dispositivo	Consumo de energía y potencia para un clínica de atención de salud de categoría III	Cantidad	Energía (vatios)	Total de vatios	Tiempo con tensión (horas/día)	Vataje (horas/día)	kWh/día
	Refrigerador/congelador de vacunas	3	60	180	6,0 - 12,0	1.080 - 2.160	1,08 - 2,16
	Refrigerador pequeño (no de uso médico)	1	300	300	5.0	1,500	1.5
	Centrifugador	1	575	575	3.0	1,725	1.725
	Mezclador de sangre	1	28	28	3.0	84	0.084
	Microscopio	3	15	45	6.0	270	0.27
	Iluminación	3 - 4	15	45 - 60	10.0	450 - 600	0,45 - 0,6
	Autoclave (de laboratorio)	1	1,564	1,564	1.0	1,564	1.564
	Incubadora	3	400	1,200	2,0 - 12,0	2.400 - 14.400	2,4 - 14,4
	Baño de María	1	1,000	1,000	2.0	2,000	2
	Radio VHF para comunicaciones	1					
	Modo de espera		2	2	12.0	24	0.024
	En transmisión		30	30	3,0 - 4,0	90 - 120	0,090 - 0,120
	Computadora	3-6					
	Modo de ahorro de energía		50	150 - 300	7.0	1.050 - 2.100	1,05 - 2,1
	En uso		150	450 - 900	5.0	2.250 - 4.500	2,25 - 4,5
	Impresora	1	65	65	4.0	260	0.26
	Equipo radiográfico portátil	1	3,000	3,000	1.0	3,000	3
	Total :			8.634 - 9.249		17.597 - 34.157	17,6 - 34,2

Glosario

Amperio: medida del flujo de corriente eléctrica.

Batería: dispositivo que almacena energía y la suministra en forma de electricidad.

Cadena de frío: sistema de personas y equipos que intenta mantener vacunas y sangre a temperaturas adecuadas, según como se distribuyen del fabricante o proveedor hacia los lugares donde se administran.

Capital de inversión: costo inicial para comprar e instalar el equipo.

Carga: cantidad de potencia o energía eléctrica suministrada o requerida en un punto o en puntos específicos de un sistema.

Controlador de carga: dispositivo que controla el flujo de corriente desde la batería y hacia ella, y la protege de sobrecargas o de excesos de descarga.

Corriente alterna (CA): corriente eléctrica en que la dirección del flujo oscila a intervalos frecuentes y regulares.

Corriente continua (CC): corriente eléctrica que circula en una dirección.

Costo operativo: gasto diario de usar y mantener una propiedad.

Duración: tiempo de vida útil normal del sistema que se expresa en años o (para los generadores de motor) en horas de funcionamiento.

Electricidad: energía que se genera a partir del flujo de una carga eléctrica por medio de un conductor.

Electricidad solar: ver sistema fotovoltaico.

Energía: capacidad de un sistema físico para producir un trabajo. La unidad de energía es el julio.

Energía renovable: energía derivada de recursos combustibles no fósiles; incluye la energía producida por paneles FV, las turbinas eólicas, la hidroeléctrica y la biomasa.

Inversor: dispositivo en estado sólido que produce una salida de CA de una entrada de CC.

Kilovatio (kW): medida que equivale a mil vatios.

Kilovatio hora (kWh): el trabajo realizado por un kilovatio de energía eléctrica en una hora.

Potencia: la velocidad de realizar un trabajo; se mide en vatios.

Red pública: red de líneas de transmisión, líneas de distribución y transformadores que se usan en sistemas de energía centrales.

Régimen solar: cantidad de luz solar que se irradia en un área durante el transcurso de un año y que casi siempre se mide en vatios por metro cuadrado.

Rendimiento: resultado: la cantidad de algún elemento (como el de un bien de consumo) que se genera (generalmente durante un período determinado de tiempo).

Sistema fotovoltaico (FV): producción de electricidad a partir de la luz solar, comúnmente denominado “electricidad solar”.

Turbina eólica: dispositivo que convierte la energía del aire en movimiento en electricidad.

Voltio (V), tensión: unidad de fuerza eléctrica o de presión eléctrica.

Vatio, vataje (W): unidad de potencia que equivale a un julio por segundo. Los vatios equivalen al producto de voltios por amperios.

Importante: los dos estudios de caso que se mencionan a continuación ilustran de manera colectiva el enfoque paso a paso para la electrificación de los centros de atención de salud que se analizan en esta guía. En el primer ejemplo, se usa una clínica hipotética en Botsuana para demostrar la utilidad de una herramienta de rediseño que colabora en la tarea especial de diseño de un sistema. El segundo estudio de caso explica en detalle la electrificación de un hospital en Uganda con un sistema FV para satisfacer las necesidades energéticas de la clínica y proporcionar agua potable a la comunidad. También se destacan los planes fundamentales para garantizar el funcionamiento y mantenimiento adecuado de estos sistemas.

Estudio de caso I: evaluación de opciones para generar energía

Estudio de caso hipotético de una clínica de atención de salud en un área rural de Botsuana

Una clínica hipotética que está en el desierto de Kalahari, en Botsuana, actualmente cuenta con un refrigerador pequeño, luces, mezclador de sangre, microscopio, computadora y equipo de comunicaciones. Con la hoja de trabajo que está en el apéndice B, se determinó que la carga promedio diaria de la clínica es de 13 kWh por día y se espera tener una carga adicional de 2 kWh por día en un futuro próximo. La clínica no está conectada a la red pública y en la actualidad utiliza un generador diésel para satisfacer de manera parcial las necesidades energéticas. Un organismo internacional de beneficencia ha estado trabajando con esta clínica para mejorar la prestación del servicio de atención de salud local y está interesado en evaluar diferentes opciones para actualizar los sistemas de generación de energía.

Se desarrollaron varias herramientas diferentes de rediseño que permiten al usuario comparar las distintas opciones de generación de energía para las instalaciones. Para este ejemplo, usamos el programa HOMER, que fue desarrollado específicamente por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos con el fin de analizar los sistemas autónomos que incluyen componentes de energía renovable.¹

El modelo HOMER se puede usar para comparar los costos de una variedad de sistemas diferentes de generación de energía que pueden satisfacer el 100% de la carga de la clínica. Evaluamos sistemas con combinaciones de componentes, como se muestra en la siguiente figura: generador, paneles FV, convertidor de CA/CC y baterías.

Además de los datos de carga ya calculados para esta clínica, se necesitan conocer otros datos específicos del lugar para este modelo que son la disponibilidad de recursos renovables, el costo del combustible y los costos de los componentes. Los datos de radiación solar correspondientes para este lugar se pueden consultar automáticamente desde HOMER en la base de datos de la NASA, en el sitio web <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Los costos de los componentes se pueden calcular según la información de ese país.

Los cálculos de costos que se obtengan aparecen en la siguiente tabla, que clasifica una variedad de diseños de sistemas alternativos según el costo de duración de la energía por kWh. El sistema que tiene el costo más bajo es uno híbrido compuesto por paneles FV, generador diésel y baterías. Los cálculos demuestran que, debido a los costos de combustible y mantenimiento, el sistema que tiene el capital de inversión más bajo no es aquel que tiene el costo más bajo de duración de la energía. Un sistema compuesto por un generador diésel y baterías cuesta 13% más que este sistema híbrido porque el costo

¹ Si desea obtener más información sobre el modelo HOMER, consulte <http://www.nrel.gov/homer>. Este modelo puede descargarse de manera gratuita de ese sitio web.

adicional del combustible durante la vida útil del sistema representa una cifra mayor que el ahorro de la inversión inicial en paneles FV, y un sistema FV y baterías cuesta casi un 28% más que el de un diseño con el costo más bajo. Tenga en cuenta que el costo de la energía de un sistema diésel sin baterías es casi el doble del costo de un sistema diésel y baterías. El agregado de las baterías al sistema diésel a veces es una inversión positiva en lo que respecta al ahorro de combustible.

Comparación de diseños de sistemas alternativos; precio del diésel 0,80 dólares por litro							
Componentes	FV (kW)	Diésel (kW)	Batería (2 kWh)	Convertidor (kW)	Capital de inversión inicial	Total del valor presente neto (VPN)	Duración (25 años) Costo de la energía (\$/kWh)
FV, diésel, batería	3	1	12	2	\$35.050	\$60.957	0,67
Diésel, batería	-	2	16	1.5	\$6.000	\$69.008	0,759
FV, batería	4	-	30	3	\$49.000	\$78.177	0,859
Diésel	-	3	-	-	\$1.950	\$153.946	1,692

A continuación, se muestra el total del valor presente neto (VPN) de los costos del sistema de costo más bajo y sus componentes. El componente de costo del combustible es insignificante porque el generador funciona solamente 113 horas durante el año. Tenga en cuenta que todas las tecnologías tienen requisitos significativos de FyM (funcionamiento y mantenimiento), que representan un total aproximado de 300 dólares por año. Si se cuenta con los fondos suficientes para cubrir estos gastos de mantenimiento, o si los técnicos capacitados no están disponibles, los sistemas no serán sustentables.

Componente	Capital de inversión inicial	Capital de inversión actualizado	Reemplazos anuales	FyM anuales	Combustible anual	Total anual
	(\$)	(\$/año)	(\$/año)	(\$/año)	(\$/año)	(\$/año)
Matriz FV	30.000	1.805	689	75	0	2.569
Generador	650	39	17	146	186	388
Batería (12)	2.400	144	298	60	0	502
Convertidor	2.000	120	86	3	0	209
Totales	35.050	2.109	1.089	284	186	3.668

Como se analiza en esta guía, el costo de duración del sistema es una de las tantas consideraciones importantes cuando se elige la tecnología adecuada para alimentar una clínica de atención de salud. Cuando se analizan las ventajas y desventajas de los diferentes diseños de sistemas, un programa de rediseño, como HOMER, es una herramienta de mucho valor.

Estudio de caso II: proyecto de electrificación y provisión de agua para el hospital de kalungi

Ubicación: Kalungi, Uganda; año 2006

Socios: The Coca-Cola Company/Solar Light for Africa, Ltd. (SLA)/Solar Energy Uganda, Ltd. (SEU)/Geneva Global Foundation/Global Environment Technology Foundation (GETF)/Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos

Costo total del proyecto de electrificación y provisión de agua: \$121.000 (incluye los gastos del contratista y los equipos; no incluye gastos administrativos ni de supervisión)

Fuente: Solar Light for Africa, 2006

Descripción general:

El hospital de Kalungi está ubicado a 125 kilómetros de Kampala, en Uganda, a un lado de la autopista Kampala-Masaka. Este centro de atención de salud funciona como clínica y escuela de enfermería. Las enfermeras que completan el programa que se dicta en Kalungi son empleadas en los hospitales del pueblo. El hospital tiene un personal compuesto por 7 empleados y un practicante. La clínica atiende de 20 a 30 pacientes por día. La cantidad aumenta a casi 50 durante la época de malaria. Algunos pacientes pueden pagar un arancel mínimo de aproximadamente 400 chelines o 22 centavos.

El proyecto del hospital de Kalungi abarcó la electrificación de las instalaciones y también la provisión de agua potable para este centro sanitario y la comunidad local.

En las fases iniciales, se completó una evaluación preliminar para determinar las demandas de energía y la tecnología adecuada para satisfacer esas demandas. Debido a recursos eólicos deficientes y el costo elevado del combustible, un sistema fotovoltaico (FV) presentó la mejor opción disponible para resolver las necesidades de Kalungi.

Para cumplir con el objetivo de electrificación, se instaló en el hospital una matriz solar de 1,6 kW para satisfacer las necesidades de electricidad del lugar. Esto incluye 80 luces con eficiencia energética y energía para el refrigerador y un equipo de diagnóstico. A fin de proporcionar agua potable, se instaló una matriz solar de 2,6 kW a varios kilómetros de distancia donde se encuentra una perforación. Esta matriz alimenta una bomba que hace circular el agua desde la cima de una montaña hacia un tanque de almacenamiento que está en el hospital. Se instaló una tubería en la parte posterior de la montaña con canillas en varios lugares para proporcionar agua potable a la comunidad. La tubería separada ayuda a garantizar que el agua que viaja hacia el tanque permanezca bajo presión y sin contaminarse.

Para cubrir el costo del mantenimiento y funcionamiento constante, el hospital de Kalungi vendió el exceso de agua a la comunidad cercana. Los ingresos se usaron para

capacitar a dos empleados antiguos del hospital en el mantenimiento de los sistemas de electrificación y de agua. Lo recaudado también se destinó a contratar un guardia de seguridad para mantener vigilado al sistema de electrificación y protegerlo de robos en todo momento. Además, Solar Energy Uganda Ltd., que es el grupo responsable de comprar e instalar el sistema, ofreció una garantía de 5 años por la bomba de agua y 25 años de garantía por el sistema FV.

Especificaciones del proyecto de electrificación

Capacidad del sistema: Matriz de energía solar de 1,6 kW (sistema de CC de 0,2 kW y sistema de CA de 1,4 kW)

Carga: 80 luces, refrigerador y equipo de diagnóstico

Costo total del proyecto de electrificación = \$38.000 (Incluye los gastos del contratista y los equipos; no incluye gastos administrativos ni de supervisión)

Beneficios de la electrificación

- * Ampliación del horario de atención de la clínica, incluso durante la noche.
- * Estudio continuado de los alumnos de enfermería durante la noche.
- * Capacidad para esterilizar los instrumentos médicos.
- * Ahorro de combustible de aproximadamente 25.000 dólares por año.
- * Energía para los equipos de diagnóstico, como microscopios.
- * Refrigeración de vacunas, medicamentos e insumos de diagnóstico.
- * Ampliación del uso y la capacidad informática.
- * Aumento de la carga quirúrgica; mejor atención general para pacientes a nivel local.
- * Menos probabilidades de traslado de pacientes al centro de atención de salud del distrito de Masaka para un tratamiento más especializado.

Especificaciones del proyecto de agua potable

- * Provisión de agua potable para la clínica de atención de salud y la comunidad
- * Alimentación provista por una matriz de energía solar de 2,6 kW

Componentes clave: tanque de agua de concreto de pared doble con capacidad para 50.000 l ubicado en la clínica de atención de salud; 2,7 km de tubería; bomba

Beneficios del proyecto de agua

- * Agua potable para la comunidad (100.000 personas). Además de las canillas que se instalaron en la clínica de atención de salud, se colocaron tres más en la comunidad local para que los residentes locales tuvieran acceso al agua potable.
- * Menor probabilidad de que el manantial local sea contaminado por los animales o las personas que buscan agua ya que el área fue protegida y las

sumergible; unidad de purificación de agua UV. Las inspecciones hidrológicas garantizan que la cuenca de agua resista todas las temporadas de sequía.

Importante: la purificación del agua se completa en varias etapas. Se perforó y desarrolló un pozo de 12 m de profundidad. Desde el pozo se construyó un paso que filtra el agua en dos cámaras. Desde la fuente, se bombea el agua con una bomba sumergible directa FV hacia el tanque principal a una distancia total de 2,2 km. Luego, se distribuye en todo el hospital, hacia la escuela y la comunidad.

Costo total del proyecto de agua = \$83.000
(Incluye los gastos del contratista y los equipos; no incluye gastos administrativos ni de supervisión)

canillas comunitarias son más convenientes.

- * Menos posibilidades de enfermedades de transmisión hídrica en el hospital, que incluye la disentería.
- * Mejora de la limpieza y la higiene en la clínica de atención de salud.
- * Mejora en la salud general de la comunidad; el médico que está a cargo espera observar una reducción significativa de las incidencias de la disentería y otras enfermedades transmitidas por agua contaminada,

Agradecimientos

Queremos manifestar nuestro profundo agradecimiento y aprecio a muchas personas que compartieron su conocimiento y experiencia en la elaboración de esta publicación, especialmente a Craig Cornelius del Departamento de Energía de los Estados Unidos; David Kline y Peter Lilienthal, del Laboratorio Nacional de Energía Renovable; John Pitman, contratista de servicios de ATA para los Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades; Solar Light for Africa; Sam Dargan, de Great Lakes Energy; y Global Environment & Technology Foundation. Además, queremos reconocer las opiniones y los aportes importantes compartidos por otros especialistas y demás partes interesadas.

información complementaria

A continuación, se enumeran recursos complementarios para lograr una comprensión más detallada y técnica de las opciones de electrificación.

General

Renewable Energy for Rural Health Clinics, National Renewable Energy Laboratory, septiembre de 1998.

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

Renewables for Sustainable Village Power, National Renewable Energy Laboratory

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

Sistemas fotovoltaicos

Installing Photovoltaic Systems: A Question and Answer Guide for Solar Electric Systems, Florida Solar Energy Center, mayo de 1999.

<http://www.fsec.ucf.edu/>

Turbinas eólicas

Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide, U.S. Department of Energy, marzo de 2005.

<http://www.eere.energy.gov/>

Sistemas híbridos

Economics and Performance of PV Hybrid Power Systems: Three Case Studies, Sandia National Laboratories, julio de 1998.

<http://www.sandia.gov/pv/docs/PDF/ecnmcs3cs.pdf>

Baterías

Lead-Acid Battery Guide for Stand-Alone Photovoltaic Systems, developed for the International Energy Agency, diciembre de 1999.

<http://www.oja-services.nl/iea-pvps/>

Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application, Sandia National Laboratories, enero de 1997.

<http://www.fsec.ucf.edu/pvt/resources/publications/pdf/FSEC-CR-1292-2001-1.pdf>

Motores oscilantes (diésel, gasolina, gas natural)

Technology Characterization: Reciprocating Engines, developed for the U.S. Environmental Protection Agency by the Energy Nexus Group, febrero de 2002.
<http://www.epa.gov/>

Para las misiones de la USAID y otros programas del gobierno de los Estados Unidos interesados en el acondicionamiento de la infraestructura de los centros de atención de salud, el equipo de energía de la USAID y el Departamento de Infraestructura e Ingeniería de la Oficina de Desarrollo Económico, Agricultura y Comercio está disponible para proporcionar asistencia complementaria. A continuación se indica la información de contacto.

Gordon Weynand

Jefe del equipo de energía

Office of Infrastructure and Engineering

Bureau for Economic Growth, Agriculture and Trade

U.S. Agency for International Development

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Teléfono: +1 (202) 712-4169

GoWeynand@usaid.gov