GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Manual para Instructores





Centro de Conservación de Energía y del Ambiente CENERGIA



Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial SENATI



Energía y Medio Ambiente ECOFYS Utrecht – Holanda

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Manual para Instructores

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Manual para Instructores

SENATI
CENERGIA
ECOFYS
Utrecht/Lima 1999

Este manual ha sido elaborado por:

Ing. Carlos Orbegozo Reto (CENERGIA)
Ing. Bob Schulte (ECOFYS)
Ing. Gert J. Hoogenstrijd (ECOFYS)

Manual publicado por:



CIENTERGIA

Energía y Ambiente

Centro de Conservación de Energía y del Ambiente

Kanaalweg 16-G 3526 KL Utrecht Holanda

Calle Deraín 198 San Borja – Lima 41 Perú

Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción parcial o total por impresión, fotografía, microfilm o por cualquier otro medio, sin autorización escrita de los editores.

Esta publicación ha sido posible gracias al aporte económico de la *Fundación Hulsebosch Prior*, Holanda.

La información contenida en esta publicación ha sido recopilada con el mayor cuidado en cuanto a su legitimidad. Sin embargo, tanto los editores como los autores quedan exentos de toda responsabilidad legal por cualquier daño o perjuicio producido como consecuencia de la aplicación de los métodos en ella descritos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN PARA LOS INSTRUCTORES	9
1. ANTECEDENTES	9
2. OBJETIVOS DE LA CAPACITACIÓN	10
3. CONTENIDO DE LA CAPACITACIÓN	11
4. GRUPOS OBJETIVO	11
5. ADAPTACIÓN DEL CURSO A OTRAS CIRCUNSTANCIAS	12
6. REGLAS BÁSICAS	12
MÓDULO 1: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
PARTE 1: TEORÍA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	14
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO	14
EJERCICIOS Y RESPUESTAS	15
PARTE 2: PRÁCTICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	34
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO	34
EQUIPO NECESARIO	35
EJERCICIOS Y RESPUESTAS	36

INTRODUCCIÓN PARA LOS INSTRUCTORES

1. ANTECEDENTES

La energía no escapa a la teoría económica sobre medios limitados para cubrir deseos ilimitados. El avance de la explotación de fuentes naturales de energía escasas es cada vez mayor; su agotamiento gradual es muestra de ello. El delicado vínculo existente entre energía y economía ha dejado al descubierto la vulnerabilidad de muchas naciones con respecto al problema de la energía volátil: la energía es el factor clave en la decisión del costo de los productos, a un nivel micro económico; así como lo es en el dictado de la inflación y el problema de la deuda, a un nivel macro económico. Para muchos países en desarrollo, los problemas de crecimiento económico y el creciente problema de la deuda se han vuelto asuntos difíciles de manejar.

Detrás de esta problemática, se están realizando débiles intentos por aplicar las acciones alternativas que buscan liberar al mundo de su dependencia al petróleo y a otros combustibles fósiles. Estas alternativas van desde el aprovechamiento de fuentes de energías renovables, tales como la energía solar, energía eólica, energía hidráulica y biomasa, hasta la implementación de estrategias más eficientes para el uso final de la energía. Se espera que el aumento en el uso de nuevas fuentes de energías renovables ayude a cubrir, en gran medida, la brecha entre la oferta y la demanda. Sin embargo, para la comercialización de tecnologías de energías renovables se requiere contar con estrategias agresivas, especialmente en cuanto a marketing se refiere, ya que no se trata únicamente de la venta de un producto (bienes o servicios) sino también de un concepto.

Para comprender las amplias posibilidades que poseen las energías renovables, el gobierno inició recientemente varios proyectos piloto con el fin de ganar experiencia y conocimiento. La mayoría de estos proyectos están enfocados a la generación de electricidad utilizando sistemas fotovoltaicos, energía eólica y pequeñas centrales hidroeléctricas; aunque sin dejar de lado a los sistemas térmicos, como son las termas solares y el biogas.

Sin embargo, el Perú se encuentra todavía en la etapa inicial en la obtención de experiencia y habilidades dentro del campo de las energías renovables. Son muy pocos los profesionales que poseen una experiencia relevante, así como son muy escasos los técnicos con una capacitación y habilidades especializadas.

Este proyecto llenará este vacío, incorporando cursos de energías renovables a la actual currícula de las escuelas técnicas del SENATI en el Perú. A lo largo de su educación regular, los futuros instaladores eléctricos y demás técnicos recibirán capacitación sobre cómo instalar y dar mantenimiento a los sistemas de energías renovables. Este hecho presenta dos beneficios directos: en primer lugar, se incrementa la toma de conciencia acerca de las posibilidades de las energías renovables en aquellas personas que toman las decisiones acerca del uso de la energía a un nivel micro. En segundo lugar, se incrementa considerablemente el número de técnicos instaladores competentes, de modo que disminuye la necesidad de proyectos de capacitación adicional.

Se han diseñado 4 módulos distintos para las escuelas técnicas del SENATI, en los que se desarrolla la teoría y la práctica de los siguientes puntos:

Módulo 1: Energía Solar Fotovoltaica;

Módulo 2: Energía Solar Térmica;

Módulo 3: Generación de Electricidad a Pequeña Escala con Energía Eólica;

Módulo 4: Generación de Electricidad a Pequeña Escala con Energía Hidráulica;

Los cursos han sido diseñados para ser aplicados en las 4 escuelas de nivel intermedio del SENATI en Lima, Trujillo, Arequipa y Chiclayo, y están integrados a las currículas de Electrónica Industrial (EI), Electrotecnia (ET) y Metalmecánica (MM).

El siguiente cuadro presenta el tiempo que requiere el desarrollo de cada módulo, en cada una de las currículas:

Módulo	Electrón	ica	Electrotecnia		Mecánica	
	Teoría	Práctica	Teoría	Práctica	Teoría	Práctica
1. Fotovoltaica	14	22	14	22	8	0
2. Solar Térmica	8	0	8	0	14	33
3. Energía Eólica	14	22	14	22	8	0
4. Energía Hidráulica	8	0	8	0	14	33
Total	44	44	44	44	44	66

2. OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

El objetivo a corto plazo es desarrollar la capacidad técnica de electricistas, instaladores y demás técnicos para instalar, reparar y dar mantenimiento a sistemas de energías renovables.

Al finalizar este módulo acerca de la teoría y práctica de la Energía Solar Fotovoltaica, los estudiantes habrán adquirido:

- Conocimiento básico de las fuentes de energía solar y de las posibilidades y restricciones de la generación de electricidad a pequeña escala con energía solar,
- conocimiento teórico detallado de la tecnología fotovoltaica, la cual se comercializa para permitir el uso de las fuentes de energía solar,
- habilidad para diseñar un sistema fotovoltaico basado en los requerimientos de los usuarios finales, incluyendo la realización de cálculos de costo,
- habilidad para utilizar los instrumentos que determinan el funcionamiento de un sistema fotovoltaico,
- · habilidad para instalar/construir un sistema fotovoltaico,
- habilidad para dar mantenimiento y reparar un sistema fotovoltaico.

3. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

El módulo de Energía Solar Fotovoltaica (FV) consta a su vez de dos módulos, que se desarrollan en alrededor de 36 (EI, ET) ú 8 (MM) horas:

Teoría

EI, ET 14 horas, MM 8 horas

Práctica

EI, ET 22 horas, MM 0 horas

Parte 1: Teoría de la energía solar fotovoltaica

La primera parte del módulo FV dura 14 (EI; ET) ú 8 (MM) horas, y está dedicada a la teoría de la tecnología FV. Los estudiantes aprenderán acerca de la historia de la tecnología FV, la fuente de energía solar (el sol), cómo diseñar un sistema FV, y por qué es importante tomar en cuenta el entorno cuando se busca un lugar para instalar un sistema FV.

Parte 2: Práctica de la energía solar fotovoltaica

La segunda parte del módulo FV dura 22 (EI, ET) ó 0 (MM) horas y toca los aspectos teóricos y prácticos de la energía solar fotovoltaica. Los estudiantes aprenderán cómo instalar, dar mantenimiento y reparar un sistema FV. También tocará el punto referente a los servicios posteriores a la venta del sistema FV, por ejemplo los manuales de usuario y la inspección complementaria.

El manual para estudiantes desarrolla los puntos más importantes del aspecto teórico y técnico de la tecnología FV. Por lo tanto, cada instructor deberá estudiar dicho manual y utilizarlo como material de consulta. Asimismo, cada instructor determinará cuál es el método de enseñanza más efectivo, basándose en sus propias habilidades y experiencia en capacitación.

El manual para estudiantes será distribuido al inicio del módulo. El manual incluye una serie de anexos y ejercicios. De ser necesario, se podrán distribuir otras separatas relevantes para el desarrollo del curso.

El manual para estudiantes incluye algunos ejercicios a modo de tarea. Todas las repuestas figuran en el manual para instructores.

4. GRUPOS OBJETIVO

Instructores

El manual para instructores está dirigido a los profesores que enseñan el contenido de los distinto módulos en las escuelas técnicas del SENATI.

Estudiantes

El grupo objetivo de los módulos de capacitación está conformado por los estudiantes de las escuelas técnicas de nivel intermedio del SENATI. Los módulos de capacitación han sido diseñados especialmente para las currículas de Electrónica Industrial, Electrotécnica y Metalmecánica.

5. ADAPTACIÓN DEL CURSO A OTRAS CIRCUNSTANCIAS

Este curso de capacitación ha sido desarrollado para el Perú y en particular para las escuelas técnicas del SENATI. Sin embargo, con el permiso de TOOL Consult, podría ser utilizado en otras escuelas, países o estados, pero probablemente sería necesario adaptarlo a las circunstancias locales. La capacitación en sí dependerá del mercado local de Técnicos en Energías Renovables, de las necesidades de capacitación de los participantes, de los programas de capacitación existentes en las escuelas técnicas, y de los medios con los que cuente el instructor. Este manual no debe ser considerado una fuente infalible de respuestas, sino un conjunto de sugerencias e ideas que deberán ser adaptadas, modificadas, utilizadas y quizás rechazadas según su análisis. La mejor prueba de que el material está siendo utilizado apropiadamente será la cantidad de cambios, adiciones y modificaciones que realice cada instructor. No piense que el material requiere sólo unos minutos de preparación; Ud. deberá revisar a conciencia los pasos a seguir, antes de dirigir cualquier curso basado parcial o totalmente en este material.

6. REGLAS BÁSICAS

Las reglas más importantes para el dictado del presente curso de capacitación son las siguientes:

- 1. Utilice un lenguaje simple, incluso vernacular, haciendo uso frecuente de símbolos (dibujos, por ejemplo), ya que no todos los participantes poseerán un alto nivel de educación o nociones técnicas. No utilice conceptos demasiado abstractos.
- 2. La disposición de las sillas deberá permitir que los participantes se vean el uno al otro. Retire las mesas para permitir una participación activa.
- 3. Asegúrese de que cada estudiante haya comprendido claramente la estructura de la sesión. Al inicio de cada sesión, haga un esquema de la misma, y al final, haga un resumen de lo acontecido en ella.
- 4. Sea flexible y responda a las preguntas, observaciones y sugerencias de los participantes.
- 5. Permita la interacción y evite hablar demasiado.
- 6. Nunca ridiculice una respuesta o una sugerencia de un participante.
- 7. Anote las respuestas de los participantes en la pizarra y parafraséelas con el fin de facilitar una comunicación efectiva.
- 8. Asegúrese de que todos los participantes sigan el desarrollo de la clase.
- 9. Sea dinámico, ameno y activo.

MÓDULO 1: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Objetivos: Al final de este módulo los participantes podrán:

- comprender los fundamentos físicos de la energía fotovoltaica
- conocer las principales aplicaciones de la energía fotovoltaica
- manejar los instrumentos de medición solar y de medición eléctrica
- tener un entendimiento básico de las posibilidades y restricciones de la tecnología fotovoltaica
- tener un conocimiento básico del funcionamiento de un sistema fotovoltaico y sus componentes
- ser capaces de determinar los requerimientos del usuario y estimar la demanda de electricidad
- ser capaces de diseñar y dimensionar un equipo fotovoltaico
- ser capaces de instalar un sistema fotovoltaico
- realizar una inspección al término incluyendo mediciones del funcionamiento del sistema
- ser capaces de mantener y reparar un equipo fotovoltaico.

Duración:

Teoría

14 horas (EI, ET) ú 8 horas (MM)

Práctica

22 horas (EI, ET) ó 0 horas (MM)

Materiales: Panel fotovoltaico

Batería (12 VDC)

Cables

Multimetro

Solarímetro

Termómetro

PARTE 1: TEORÍA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO

CAPÍTULO		Duración [min]	
	EI, ET	MM	
 INTRODUCCIÓN, RECURSOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA ⇒ 1.1 Visión general del estado del arte de los paneles fotovoltaicos ⇒ 1.2 Aplicaciones de los sistemas FV 1.3 Posibilidades y limitaciones de sistemas FV 	90 30 30 30	50 10 30 10	
2 FUENTES DE ENERGÍA SOLAR ⇒ 2.1 Introducción 2.2 Patrones estacionales y diarios 2.3 Unidades ⇒ 2.4 Radiación solar en el Perú ⇒ 2.5 Radiación solar en un lugar específico (inclinación, orientación) 2.6 Sombras y reflejos 2.7 Mediciones ⇒ 2.8 Conclusiones	280 10 30 30 30 60 30 60 30	0 0 0 0 0 0 0	
3 ¿CÓMO OPERAN LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS? ⇒ 3.1 Disposición del sistema 3.2 Celdas fotovoltaicas, proceso de producción 3.3 Paneles fotovoltaicos, módulos ⇒ 3.4 Componentes eléctricos ⇒ 3.5 Acumuladores (baterías) 3.6 Estructuras de soporte 3.7 Simbología utilizada más frecuentemente en instalaciones FV	330 30 30 30 90 90 30 30	20 15 20 60 60 0	
4 DISEÑO DEL SISTEMA E INSTALACIÓN 4.1 Vínculo entre el producto y el usuario ⇒ 4.2 Diseño del sistema, requerimientos del usuario ⇒ 4.3 Diseño del sistema, aspectos financieros 4.4 Dimensiones de la batería de almacenamiento 4.5 Dimensiones de la unidad de control ⇒ 4.6 Selección del lugar de ubicación, requerimientos ⇒ 4.7 Mantenimiento y extensión al usuario 4.8 Contratos de servicio	390 30 30 30 60 60 60 60	120 0 20 10 0 0 30 30 30	
5 ASPECTOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS ⇒ 5.1 Cálculo del costo de inversión 5.2 Generadores diesel 5.3 Conexión a la red ⇒ 5.4 Cifras económicas ⇒ 5.5 Costos de la electricidad	210 60 30 30 60 30	90 30 10 10 30 10	
6 LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA A ESCALA NACIONAL ⇒ 5.1 Introducción 5.2 Capacidad de potencia fotovoltaica instalada en el país 5.3 Referencias de proyectos nacionales ⇒ 5.4 Directorio de empresas e instituciones Total	50 10 10 20 10	30 0 10 10 10	

Las partes señaladas con \Rightarrow son las más importantes. Las partes que no están señaladas podrían ser omitidas por falta de tiempo.

EJERCICIOS Y RESPUESTAS

Ejercicio 1:

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los módulos monocristalinos frente a los policristalinos?

Respuesta:

La ventaja de los módulos monocristalinos frente a los policristalinos es que su eficiencia es mayor; por tanto, el tamaño del panel que utilizan es menor. La desventaja es que son más costosos.

Ejercicio 2:

Compare estos precios con los precios actuales del mercado en el Perú.

¿Hay una diferencia considerable?

De ser así, trate de explicar por qué.

Respuesta:

Antes de empezar la clase, informe acerca de los precios actuales en el Perú.

Como es de suponerse, los precios que figuran en el texto son precios promedio, y variarán según el país, así como varían los salarios, los márgenes de ganancia, los costos de producción y los impuestos.

Ejercicio 3:

¿Podría sugerir otras aplicaciones para la tecnología fotovoltaica?

Respuesta:

Permita que los estudiantes hagan una extensa lista de todas las aplicaciones en las que puedan pensar.

Ejercicio 4:

Dé ejemplos acerca del uso de la energía solar en los siguientes lugares (tres en cada caso):

- a) en un hogar
- b) en un hospital
- c) en un colegio

Respuesta:

- a) En un hogar: luces, radio, tocacassette, televisor pequeño y ventilador. Si se trata de un sistema grande: refrigerador, bomba de agua, televisor más grande (a color) y videograbadora;
- b) En un hospital: luces de emergencia, luces en general, radio, televisor, refrigerador, bomba de agua, transmisor y receptor de onda corta, instrumentos de laboratorio (por ejemplo, luz de microscopio, centrífuga, cromatógrafo) y aire acondicionado para las salas de operaciones;
- c) En un colegio: luces, televisor, videograbadora, proyector de filminas, computadora y calculadora.

Ejercicio 5:

Piense en toda clase de actividades para las cuales la energía es necesaria en la vida diaria. ¿En cuáles de estas actividades emplearía Ud. la energía FV?

Respuesta:

Permita que los estudiantes den todas sus sugerencias y luego, trate de discutir por qué en ciertos casos la energía FV es aplicable, y en otros casos no.

Ejercicio 6:

Vea la ilustración 1.9 en el Manual Teórico. Economía de la instalación de sistemas fotovoltaicos vs. Red pública y generador diesel.

En el pueblo de Santa Fe, Ica, un hogar promedio registra una demanda diaria de energía de 0.50 kWh/día y son 100 los hogares que carecen de luz eléctrica. El pueblo se encuentra a 10 kilómetros de la red. Si se instala módulos FV, el costo por Wp será de 5.0 \$/Wp.

Usted trabaja en Electro Sur Medio y debe decidir si el pueblo será abastecido con energía FV o conexión a la red. Considerando sólo el aspecto económico, ¿qué opción escogería?

Respuesta:

La carga diaria promedio que la población consume es 100×0.50 kWh = 50 kWh/día. Según el gráfico, el costo de la electricidad proveniente de la red es de 1.75 \$/kWh aprox. para esta carga; mientras que, si empleamos un módulo FV de 5.0 \$/Wp, el costo de la energía es de 1.25 \$/kWh aprox. Por lo tanto, en este caso, la iluminación con energía FV es más barata.

Ejercicio 7:

Existen varias formas para determinar qué opción es mejor, por ejemplo, considerar la inversión necesaria para cada caso. Por supuesto, para decidir entre extender la red o emplear sistemas FV, es mejor trabajar con precios reales y no con un gráfico general. En el Perú (1998), el Ministerio de Energía y Minas empleó las siguientes cifras en sus cálculos:

450 US\$/hogar por conexión a la red 8,000 US\$ por kilómetro de línea de transmisión

Un sistema FV completo de 50 Wp, capaz de suministrar energía suficiente para un hogar, cuesta 1,000 US\$. ¿Qué opción requiere una menor inversión?

Respuesta:

La inversión necesaria para conectar un pueblo a la red es de $100 \times 450 + 10 \times 8,000 = 125,000$ US\$. El costo de 100 sistemas FV es de $100 \times 1,000 = 100,000$ US\$.

Es decir, la inversión para el uso de sistemas FV es menor. Además, éstos no generan gastos por combustible y su costo de mantenimiento es muy bajo. En conclusión, el uso de sistemas FV resulta más económico a largo plazo.

Ejercicio 8:

Haga un listado de los puntos fuertes y los puntos débiles de la tecnología FV. ¿Qué habría que hacer para mejorar sus puntos débiles?

Respuesta:

Puntos Fuertes	Puntos Débiles
Necesita poco mantenimiento	Costosa (especialmente los costos de compra;
No tiene partes en movimiento, no hace	los costos de ejecución son casi nulos)
ruido	La Radiación solar es fluctuante, por lo se
No causa polución	requiere de un almacenamiento de batería
Puede ser utilizada en cualquier lugar,	costoso
especialmente en los lugares donde no hay	Escasa disponibilidad
conexión a la red	La tecnología es muy poco conocida
Los sistemas FV son fáciles de operar	
Un sistema puede ser agrandado fácilmente	

Ejercicio 9:

Los ejemplos del libro de texto hacen referencia a Indonesia. ¿Podría sugerir ejemplos del Perú o quizás de países cercanos al Perú?, ¿cuáles fueron las experiencias en dichos lugares?

Respuesta:

Infórmese acerca de experiencias locales y analícelas con sus alumnos. Vea el capítulo "La experiencia adquirida a escala nacional" del Manual de Teoría.

Ejercicio 10:

Considerando las condiciones necesarias para instalar sistemas FV, piense en las regiones del Perú donde la energía FV representaría una buena opción. Si pudiera escoger, ¿Dónde empezaría un negocio de venta de sistemas FV?

Respuesta:

Las siguientes son algunas de las consideraciones acerca de dónde empezar un negocio venta de sistemas FV, pero por supuesto, hay muchas más en las que los estudiantes pueden pensar:

- Deberá ser una región con un alto índice de población y fácil acceso, para facilitar la instalación y servicio de los sistemas FV;
- El mercado potencial de la región deberá ser considerable (región con un alto índice de población);
- Las poblaciones de la región deberán tener ingresos suficientes como para pagar por un sistema solar FV domiciliario;
- La región no debe ni deberá estar cubierta por el sistema de alumbrado público;
- La Radiación solar promedio al año deberá ser de 4 kWh/m² al día como mínimo y la Radiación solar promedio al mes deberá ser de 3 kWh/m² al día como mínimo.

Ejercicio 11:

Se recomienda evitar que ciertos artefactos operen con energía solar. Dé algunos ejemplos y explique por qué.

Respuesta:

Es preferible evitar que artefactos como cocinas y planchas eléctricas, calentadores de agua y herramientas o motores eléctricos trabajen con energía solar, ya que su consumo es elevado; si bien es técnicamente posible, ello resultaría muy costoso.

El convertir energía solar en energía térmica es un proceso caro y poco recomendable; para ese propósito, es mejor utilizar instalaciones termosolares (calentadores solares, secadores, cocinas, etc.).

En cuanto a la maquinaria de transporte, se recomienda el uso de motores a combustión o generadores diesel. El consumo de los motores (eléctricos) es muy alto, lo que hace poco atractiva la idea de emplear energía solar en estos casos.

Ejercicio 12:

Calcule qué área se requeriría para cubrir la demanda total de energía en el Perú. Primero, calcule la demanda de energía en el Perú y luego calcule el área de paneles FV.

Respuesta:

La demanda de energía en el Perú en 1995 fue el equivalente a 10 millones de toneladas de carbón, (1 ton de carbón = 27 GJ)

 $E_d = 10^{\circ}000,000 \times 27 \text{ GJ} = 270 \times 10^6 \text{ GJ} = 7.5 \times 10^{10} \text{ kWh.}$ Radiación = 5 kWh/ m².día = 1825 kWh/m²-año Salida de un panel FV (10% eficiencia) = 185 kWh/m²-año Área requerida = 7.5×10^{10} / $185 = 4 \times 10^8 \text{m}^2 = 400 \text{ km}^2$

Ejercicio 13:

La familia Flores desea comprar un sistema FV pero no están seguros de que el sol pueda proporcionar suficiente energía para cubrir sus necesidades. Piensan que quizás el sol está demasiado lejos. Explique en sus propias palabras qué tipo de energía proporciona el sol.

Respuesta:

Una forma de explicar a la familia Flores que la energía solar es abundante es calcular primero los requerimientos de energía de su hogar, por ejemplo 1 kWh/día, y luego explicarles que la Radiación solar que cae sobre 1 m² diariamente ya es 5 veces la necesaria. La distancia del sol no tiene importancia.

Ejercicio 14:

Explique por qué el nivel de radiación es mayor en las provincias de las zonas desérticas y del altiplano que en las de la selva.

Respuesta:

En el desierto, la humedad del aire es baja y el cielo, claro y despejado la mayor parte del tiempo. La radiación no es absorbida o reflejada por el polvo y la humedad del aire; en consecuencia, su nivel es alto. En el altiplano, el cielo también es claro y, con frecuencia, está "por encima" de las nubes, lo que permite que el nivel de radiación también sea alto. Sin embargo, en la selva, la humedad es mayor; el aire es menos limpio y hay presencia de nubes durante el día. Por lo tanto, una gran parte de la energía solar es reflejada o absorbida y es menor la radiación que llega a la tierra.

Ejercicio 15:

Luego de observar las variaciones de la radiación solar por día y por estación, ¿cuáles son las consecuencias de dichas variaciones sobre los sistemas FV?

Respuesta:

Explique que el punto más débil de los sistemas FV (y de la mayoría de sistemas de energías renovables) es la necesidad de almacenar energía, ya sea en baterías o en cualquier otro medio, debido a las fluctuaciones de la fuente de energía.

Ejercicio 16:

En la tabla 2.2 (Cuadro de la Radiación Solar en el Perú), observe cuál es la radiación solar anual promedio en dos distritos de Lima: Jesús María y La Molina. Aunque ambos se encuentran próximos, su nivel de radiación no es el mismo. Explique por qué.

Respuesta:

La radiación anual promedio es la siguiente:

Jesús María = 3.8 kWh/m^2 La Molina = 3.4 kWh/m^2

La explicación está en el clima y la polución local. Por ejemplo, una pequeña diferencia de altitud puede generar un cambio en la humedad; mientras menor es la humedad, mayor es la radiación. Asimismo, es posible que uno de los distritos tenga un nivel más alto de emisiones de combustibles fósiles, provenientes del tránsito y las fábricas. Una mayor presencia de partículas en el aire, a causa de tales emisiones, provoca una reducción en la radiación.

Ejercicio 17:

El uso de diferentes unidades siempre ocasiona errores y confusión. Practique con las diferentes unidades para Radiación solar que están actualmente en uso (vea la tabla 2.3).

- 1. ¿Cuánta energía expresada en MJ recibe por metro cuadrado la ciudad de Arequipa en un periodo de 1 año?
- 2. ¿A cuántos kWh/m² equivalen 1800 kJ/cm²?

Respuesta:

- 1. Radiación = 5.6 kWh/m^2 .día > Energía por año en MJ/m² = $365 \times 5.6 \times 1/0.2778 = 7,358 \text{ MJ/m}^2$
- 2. $1.800 \text{ kJ/cm}^2 = 2.778 \times 1.800 = 5.000 \text{ kWh/m}^2$

Ejercicio 18:

En el mapa solar mundial, observe cuál es la Radiación solar tanto en Amsterdam como en Lima. Exprésela en kWh/m².año (ver la tabla de la sección 2.3).

Respuesta:

Amsterdam : $\sim 400 \text{ KJ/cm}^2$.año = 1,110 kWh/m².año Lima : $\sim 700 \text{ KJ/cm}^2$.año = 1,940 kWh/m².año

Ejercicio 19:

Calcule el requerimiento diario total de energía que registran los siguientes artefactos:

- Dos lámparas de 8 W cada una, encendidas durante cuatro horas.
- Una lámpara exterior de 12 W, encendida durante doce horas.
- Un televisor de 40 W, encendido durante tres horas.

Respuesta:

Artefactos	Energía por artefacto (W)	Uso diario estimado (Horas al día)	Requerimiento de energía (Wh por día)
Lámpara interior 1	8	4	32
Lámpara interior 2	8	4	32
Lámpara exterior	12	12	144
Televisor	40	3	120
Requerimiento diario	total de energía (Wl	n por día)	328

Ejercicio 20:

¿Cuál es la ciudad del Perú que recibe mayor radiación solar (en promedio)? Emplee ambas tablas de radiación solar y explique la diferencia.

Respuesta:

La primera tabla indica que la ciudad de Arequipa es la que recibe la mayor radiación solar: 5.6 kWh/m².día

La segunda tabla indica que es Huancayo la que recibe mayor radiación: 6.86 kWh/m².día. Sin embargo, la primera tabla indica que Huancayo sólo recibe 4.9 kWh/m².día.

Por supuesto, es extraño comprobar que hay una gran diferencia entre ambas tablas. Esto no debería ocurrir, pero esta es la realidad. Si Ud. utiliza 3 fuentes distintas para calcular la radiación solar, entonces obtendrá igualmente 3 respuestas distintas. Las diferencias se deben a:

- diferencias en el método de medición;
- diferentes métodos de proyección o cálculo de valores;
- información obtenida de fuentes y años distintos;

Ejercicio 21:

En una casa de Arequipa Ud. puede instalar un sistema FV de 50 Wp, cuyo costo es de US\$ 1,000. El panel puede ser instalado en el techo, el cual está orientado al norte y tiene una inclinación de 40°. La otra posibilidad es instalarlo en un sitio separado (con un costo adicional de US\$ 200), con el fin de colocarlo en una posición óptima. ¿Qué haría Ud. en este caso?

Respuesta:

La latitud de Arequipa está entre $15\text{-}20^\circ$, por lo que un techo con una inclinación de 40° hacia el norte tiene un factor de inclinación de 1.02. Por otro lado, el factor de inclinación del ángulo óptimo (20°) es de 1.07. Esto significa que el colocar el panel en el sitio aumentaría la salida del sistema con un factor de 1.07/1.02 = 1.05, es decir, un incremento del 5%. Los costos adicionales para colocar un polo ó soporte son de 200 US\$, lo que representa un incremento de 20% en el precio. Es obvio que la salida extra del sistema no justifica tal inversión.

Ejercicio 22:

¿Por qué un módulo no debe ser fijado directamente sobre un techo de hojalata, sino al menos 10 centímetros por encima?

Respuesta:

Dado que los rayos solares caen sobre en módulo, el techo se calentará y la salida del módulo reducirá. Si fijamos el módulo directamente sobre el techo de lata, la temperatura será mayor que si lo hacemos 10 centímetros por encima. Mientras más alta sea la temperatura, menor será la salida del panel. Por esta razón, se recomienda mantenerlo lo más fresco posible.

Ejercicio 23:

¿Por qué afecta al sistema si una de las partes del sistema FV recibe sombra mientras está operativo, aún si se trata de una sola celda?

Respuesta:

Incluso una pequeña sombra sobre una celda puede afectar el rendimiento de todo el circuito. Si una celda es ensombrecida, ella actuará como resistencia y reducirá drásticamente la corriente que circula a través del circuito de celdas. Por ejemplo: Un panel consta de 4 series, de 10 celdas cada una. Si ensombrecemos una celda (sólo 2.5% de la superficie del panel), ello bloqueará la salida de todo la serie (25% del panel).

Ejercicio 24:

Una buena forma de estimar la influencia de los obstáculos en un vecindario que cuenta con un sistema de energía solar es calcular la trayectoria del sol durante el día, tanto en verano (cuando el sol sigue una trayectoria más alta) como en invierno (cuando el sol está más bajo). Escoja un lugar que presente obstáculos (algún lugar cerca del salón de clase) donde le gustaría instalar un sistema de energía solar e imagine cuál sería la trayectoria del sol en verano y en invierno. Observe cuidadosamente y calcule con qué frecuencia los obstáculos harán sombra sobre los paneles.

Respuesta:

Básicamente, esto se puede hacer con un poco de intuición. Existen complicados métodos de cálculo, pero con sólo observar cuidadosamente dónde está el sol ahora y dónde estará en otra estación, Ud. podrá realizar un cálculo adecuado.

Ejercicio 25:

Como técnico, Ud. tiene que instalar medidores para monitorear el funcionamiento de un gran proyecto de demostración en el que se instalará un sistema FV de 100 kW para abastecer de electricidad al Ministerio de Energía y Minas en Lima. ¿Qué tipo de medidores instalaría y dónde?

Respuesta:

En primer lugar, tendrá que determinar qué parámetros desea medir. En un sistema tan grande, probablemente desee medir la entrada (sol), la salida (electricidad) y, a través de esto, calcular la eficiencia. En ese caso Ud. deberá instalar los siguientes medidores:

- Un solarímetro FV con un integrador, instalado en la misma dirección de los paneles, para medir la Radiación solar en días/años;
- Un medidor de temperatura en los paneles FV, para medir su temperatura (opcional);
- Medidores kWh, para medir cuánta energía 1) producen los paneles, 2) se almacena en las baterías y 3) suministran las baterías. Ud. necesitará estos tres flujos de energía para determinar la eficiencia del sistema.

Ejercicio 26:

¿Por qué los cables para distribuir energía solar son más gruesos que los utilizados para los sistemas de 220 V, de uso común en los hogares?

Respuesta:

Porque el voltaje de operación de los sistemas FV es bajo (12 ó 24 V); por ende, las corrientes son bastante altas. Para evitar una caída de tensión y un sobrecalentamiento del cable, es necesario incrementar su grosor. El siguiente ejemplo lo explica detalladamente:

Supongamos que hay que instalar un circuito para seis lámparas de 40 W y que la longitud del cable, desde la fuente de suministro hasta la última lámpara, es de 25 metros. El tamaño del cable deberá ser lo más corto para dar una diferencia de tensión de 10% cuando todas las lámparas estén prendidas. La tabla a continuación presenta los cuatro voltajes de operación existentes. Los voltajes normales de la red son 220 o 110 V, mientras que, para los sistemas solares, 24 y 12 V. En la tabla, al disminuir el voltaje de operación, la corriente aumenta y la diferencia de tensión es menor. El efecto de ambos cambios se traduce en que: es necesario utilizar cables muy gruesos cuando se opera a bajo voltaje.

Tabla: Este ejemplo demuestra que, para una misma carga, el tamaño adecuado del cable depende del voltaje del sistema. La diferencia máxima aceptable de tensión a lo largo del cable es de 10%.

Voltaje del Sistema (V)	Corriente para seis lámparas de 40 W	Valores de diferencia de	Tamaño de cable mínimo requerido
	(A)	tensión de 10% a lo largo del cable (V)	(mm ²)
240	1.0	24	0.04
110	2.2	11	0.2
24	10	2.4	4
12	20	1.2	17

Ejercicio 27:

¿Cuáles son los voltajes de operación típicos de los sistemas solares de energía?

Respuesta:

Los voltajes de operación típicos son: 12 V, en el caso de los sistemas pequeños, 24 V y 48 V para los medianos y grandes.

Ejercicio 28:

A continuación incluimos un ejemplo de las especificaciones técnicas para un módulo solar:

Potencia: 53 Wp

Voltaje en circuito abierto: 21.8 V

Bajo condiciones de prueba estándar de 1,000 W/m²
25 °C de temperatura de celda y 1.5 de masa de aire

Corriente de cortocircuito: 3.27 A

Voltaje en carga: 17.4 V Corriente en carga: 3.05 A Número de celdas en serie: 36

Tamaño de celda: 4.05 pulgada cuadrada (102.9 mm²)

Tipo de celda: silicio monocristalino

¿Qué parámetro es el más apropiado para calcular el tiempo que demorará el módulo en cargar una batería?

¿Cuánto tiempo tomará cargar una batería vacía, cuya capacidad nominal es de 90 Ah, en una localidad con seis horas diarias de radiación solar a 1,000 W/m²?

Respuesta:

El valor más apropiado es el de la potencia máxima de 53 Wp.

Si asumimos que el voltaje de operación es 12 V, la cantidad de energía necesaria para cargar completamente la batería es $90 \times 12 = 1080 \text{ Wh}$. Si el panel genera 53 W a luz solar plena, entonces el proceso tomará 1080/53 = 20.4 horas o 20.4/6 = 3.4 días. Este cálculo, claro está, no es exacto, ya que la eficiencia de carga no es del 100%, por lo que podría tomar más tiempo.

Ejercicio 29:

¿Por qué es necesario contar con unidades de control en los sistemas FV?

Respuesta:

Una unidad de control protege al sistema de:

- Daños en el cable y fuego provocado por cortocircuitos.
- Sobredescarga de baterías de plomo-ácido.
- Cargado excesivo de baterías.

Ejercicio 30:

¿Qué significa "polaridad inversa" y por qué es un problema?

Respuesta:

Significa que los polos o conexiones negativos y positivos han sido mal conectados. Esto puede ocasionar que los artefactos que operan con corriente continua dejen de trabajar, que otros se dañen y que el módulo solar no cargue las baterías.

Ejercicio 31:

Los sistemas FV pequeños operan a 12 V. ¿Por qué los sistemas medianos y grandes trabajan a 24 V?

Respuesta:

Porque, si usamos 12 V para los sistemas FV medianos y grandes, el costo total del cable será más elevado, puesto que la corriente será más alta. Al operar a 24 V, este costo disminuye, ya que el tamaño del cable se reduce a la cuarta parte.

Ejercicio 32:

¿Qué tipo de cables usaría para los siguientes sistemas:

- 1. 50 Watt, 12 Voltios
- 2. 10,000 Watt, 220 Voltios
- 3. 2,000 Watt, 12 Voltios

Respuesta:

- 1. Por seguridad, se utilizarían cables de 1 mm²
- 2. Cables de 10 mm²
- 3. Este tipo de cable está fuera de la tabla. La corriente calculada es de 2,000/12 = 167 A, y para ello se necesitan cables de 50 mm² como mínimo. Es fácil imaginar que, tratándose de un sistema tan grande, el costo de los cables sería enorme. Quizás sería mejor aumentar el voltaje a 24 Voltios o más.

Ejercicio 33:

Examine el esquema de distribución de un sistema fotovoltaico y explique los flujos de energía en el sistema.

Respuesta:

De acuerdo a su experiencia en el área eléctrica y con ayuda de la teoría de la energía solar, podrá explicar el funcionamiento eléctrico de un sistema FV.

Ejercicio 34:

Observe el diagrama de una unidad de control y determine su funcionamiento.

Respuesta:

Examine los componentes del controlador y trate de determinar sus funciones específicas.

Ejercicio 35:

¿Por qué se recomienda el uso de artefactos que operan con corriente continua de bajo voltaje, en lugar de aquéllos que lo hacen con corriente alterna y que requieren de un inversor de voltaje?

Respuesta:

Porque sino aumentaría el costo total del sistema FV. Además, la eficiencia total disminuiría, dado que el inversor también consume energía.

Ejercicio 36:

¿Por qué se produce una baja en el nivel de electrolito de las baterías selladas y qué líquido se emplea para llenarlas nuevamente?

Respuesta:

El nivel de electrolito disminuye cuando el agua que forma parte del electrolito se evapora. Por lo general, esto ocurre debido a una sobrecarga de la batería. El resultado es una reacción química denominada gasificación, donde el agua se descompone. Durante este proceso, se forman burbujas de oxígeno y de hidrógeno en los electrodos positivo y negativo respectivamente. Se deberá utilizar agua destilada para llenar nuevamente la batería.

Ejercicio 37:

¿Qué tipo de batería usaría en una instalación donde ésta será sometida a ciclos profundos frecuentes y donde estará vacía durante largos periodos?

Respuesta:

Obviamente, las baterías de electrolito cautivo poseen las mejores características para estos casos, y con temperaturas más altas, será mejor usar una batería solar.

Ejercicio 38:

¿Por qué resulta imposible hablar en términos generales del tiempo de vida de una batería?

Respuesta:

El tiempo de vida de una batería está determinado por cómo y en qué circunstancias se le usa. En un sistema FV, una batería puede durar 1 año, en caso de que se trate de una batería muy pequeña y, por lo tanto, de ciclos profundos regulares. También puede durar 7-8 años, si tiene el tamaño apropiado y no es de ciclo profundo. En la mayoría de los casos es mejor hablar en términos de ciclo de vida, en lugar de tiempo de vida.

Ejercicio 39:

¿La autodescarga de una batería aumenta o disminuye durante el verano?

Respuesta:

La autodescarga aumenta con las temperaturas altas, es decir, en verano. Este efecto puede ser reducido colocando la batería en un lugar frío (sombra, ventilación).

Ejercicio 40:

¿Cuántas estructuras de soportes distintas se describen en esta sección?

Respuesta:

Ilustre las diferentes estructuras de soporte anteriormente descritas.

Ejercicio 41:

Compare este ciclo de venta con la venta de un producto más convencional: un televisor, por ejemplo. ¿Siguen el mismo proceso?

Respuesta:

Un sistema de energías renovables es un producto bastante complicado, más complicado que otros productos. Sin embargo, también con un producto como un televisor, las etapas de los ciclos de venta son más ó menos las mismas, con la diferencia de que son más cortas y, en la mayoría de los casos, no se distinguen claramente. Por supuesto, los requerimientos del usuario siempre constituyen el punto de partida; los datos meteorológicos no son relevantes, pero la capacidad de recibir una señal de televisión en cierta localidad tiene igual importancia y por lo tanto es relevante. El sistema (un televisor) puede ser ajustado/diseñado de acuerdo al gusto del cliente (con/sin control remoto, a color/blanco y negro, con antena adicional, etc.). Los siguientes pasos, es decir la instalación, inspección y extensión, están integrados y deben ser llevados a cabo por el cliente con ayuda del manual del usuario. Los contratos de servicio o garantías son muy comunes, pero el monitoreo y retroalimentación no son tan necesarios en el caso de un producto terminado y confiable como es un televisor.

Ejercicio 42:

La salida diaria promedio de un sistema FV instalado en el Perú está calculada en 130 Wh diarios a 12V. ¿Cuántos de estos paneles deberá adquirir un cliente cuyo requerimiento diario de energía es de 900 Wh, para un sistema que trabaja a 12 V? Se usará una batería de plomo-ácido con una eficiencia de carga de 80%.

Respuesta:

El requerimiento diario de energía de 900 Wh puede cubrirse con 6.9 módulos, es decir, 900/130 = 6.9. Dado que la batería tiene una eficiencia de carga de 80%, la capacidad del módulo deberá aumentar en un 20%, es decir $100/80 \times 6.9 = 8.6$. Luego, el sistema total requiere un mínimo de 9 módulos.

Ejercicio 43:

Tome como ejemplo su propia casa, y calcule el consumo de energía total por día y por año. Compare esos cálculos con los recibos de luz. ¿Acertó en sus cálculos? Explique la diferencia.

Si desea, puede llevar a cabo este ejercicio aplicándolo a toda la escuela.

Respuesta:

Haga una lista de las máquinas y artefactos eléctricos. Anote el consumo de potencia en watts de cada uno (por lo general figura en la parte posterior del artefacto). Calcule el número de horas de uso al día (en promedio) y luego, calcule el consumo de energía de cada uno. Ponga cuidado en el uso de las unidades. La potencia en watts multiplicada por el número de horas da el consumo de energía en watts-horas. Para convertirlo a kWh, divida el resultado entre 1,000. Finalmente, sume el consumo de todos los artefactos y multiplíquelo por 365 para obtener el consumo total por año.

Seguramente se presentarán diferencias. Por lo general, el consumo calculado es más mayor que el consumo real, ya que la potencia estimada (que aparece en el artefacto) corresponde a una carga máxima. En el caso de un foco, no existe esa diferencia (un foco de 40 watts siempre consumirá 40 watts) pero, en el caso de un refrigerador, un televisor ó una radio, sí hay diferencia. Además, el cálculo del número de horas de uso al día es bastante difícil y, por lo tanto, inexacto.

Ejercicio 44:

Determine cómo se obtuvo el factor 1,200 en la fórmula $Ar = 1,200 \times E/I_d$. ¿Esta fórmula es aplicable a todo tipo de paneles con eficiencias diferentes?

Respuesta:

La radiación se expresa en kWh/m².día, lo que equivale al número de horas al día con una radiación de 1 kW/m². Cuando la radiación es 1000 Watt/m² y la temperatura es 25°C, la salida de un panel de 1 Wp es de 1 Watt. Entonces, un panel de 1 Wp generará 5 Wh, cuando la radiación sea de 5 kWh/m² (= 5 horas de 1 kW/m²):

⇒ Un panel de 1 Wp genera:

 I_d [Wh/d]

Luego, multiplique por 0.001 para hace la conversión de Wh a kWh:

⇒ Un panel de 1 Wp genera:

 $0.001 \times I_d [kWh/d]$

La eficiencia del sistema (eficiencia de la batería y de la unidad de control) es de 85%.

 \Rightarrow Un sistema de 1 Wp genera: $85\% \times 0.0001 \times I_d = 0.00085 \times I_d \text{ [kWh/d]}$

La salida del sistema es:

 $E_d = 0.00085 \times I_d \times A_r$

o expresado de otro modo:

 $A_{r} = 1.200 \times E_{d}/A_{r}$

Lo bueno de esta fórmula es que es independiente de la eficiencia del panel. Ud. podrá aplicarla siempre que la capacidad del panel esté expresada en Wp.

Ejercicio 45:

El Sr. Tafur desearía usar energía solar fotovoltaica en su hogar, en la villa San Carlos. En San Carlos la radiación global media es:

Enero	24 MJ/m².día
Abril	20 MJ/m ² .día
Julio	18 MJ/m².día
Octubre	24 MJ/m ² .día

La demanda de electricidad de la casa es la siguiente:

3 luces de 13 W;
un televisor, 40 W;
una radio de 10 W;
3 horas al día
3 horas al día

Aconseje al Sr. Tafur en la compra de un sistema FV.

Respuesta:

La radiación mínima es de 18 MJ/m².día ó 5 kWh/m².día (Julio). Lo mejor es diseñar un sistema FV que pueda cubrir la demanda completa en el mes con menor cantidad de luz solar.

Asumamos que la demanda es constante:

$$E_d = \frac{(3 \times 13 \times 4) + (40 \times 4) + (10 \times 3)}{1,000} = 0.346 \text{ kWh/día}$$

Aplique la fórmula para determinar el tamaño del sistema:

$$A_r = 1,200 \times E_d/I_r = 1,200 \times 0.346/5 = 83 \text{ Wp}$$

Para operar sin radiación durante 3 días, el tamaño de una batería deberá ser: $3 \times 346/0.50 = 519$ Wh ó 43.25 Ah (a 12 V), asumiendo que la batería se puede descargar hasta un máximo de 50%.

Ejercicio 46:

Un hospital pequeño en las montañas de Cajamarca recibió una donación de US\$ 10,000 de una fundación americana para comprar e instalar un sistema FV. Quieren usar el sistema para alumbrar el hospital y refrigerar medicinas y vacunas. En total necesitan una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 50 litros y quieren usar un refrigerador energéticamente eficiente y bien aislado que consume sólo 1,000 Wh/día. Para alumbrar el hospital actualmente se usa unos 10 focos de luz de 60 W para los corredores y salas durante la tarde (en promedio desde las 6:00 p.m. hasta las 10:00 p.m.) y 5 luces de emergencia (20 W) que están encendidas toda la noche. Aún más, ellos desean usar un sistema de aire acondicionado (500 W por 4 horas al día) en la sala de operaciones y desean instalar una bomba FV para sustituir la actual bomba manual (capacidad de 10,000 litros al día desde una profundidad de 25 m).

Diseñe un sistema FV que pueda cubrir todos los deseos del hospital. Diseñe la batería de almacenamiento de manera que puedan abastecerse 5 días sin sol sin estropear las medicinas. ¿Es la donación suficiente? Aconseje al hospital cómo ahorrar energía y cómo minimizar costos.

Respuesta:

La Radiación en Cajamarca es de 4.5 kWh/m².día.

La demanda de electricidad es:

Refrigerador:

1,000 Wh

Luces: $10 \times 60 \times 4 = 2,400 \text{ Wh}$

Aire acondicionado: $500 \times 4 = 2,000 \text{ Wh}$

Bomba de agua: $Q = mgh = 10,000 \text{ l} \times 10 \times 25 \text{ m} = 2.5 \text{ MJ}$

Eficiencia de bombeo = 50% electricidad para bombeo = 5 MJ = 1,400 Wh

$$E_d = 1,000 + 2,400 + 2,000 + 1,400 = 6,800 \text{ Wh/dia} = 6.8 \text{ kWh/dia}$$

$$A_r = 1,200 \times E_d/I_r = 1,200 \times 6.8/4.5 = 1,800 \text{ Wp}$$

Un sistema con estas características costaría alrededor de US\$ 18,000 (US\$10/Wp), lo que sería demasiado. Sin embargo, hay posibilidades para un ahorro de energía, como por ejemplo, utilizar lámparas ahorradoras de 10 W en lugar de focos de 60 W o no utilizar el aire acondicionado. En este caso, la demanda sería:

$$E_d = 1,000 + 400 + 0 + 1,800 = 3,200 \text{ Wh/día} = 3.2 \text{ Wh/día}$$

 $A_r = 1,200 \times 3.2/4.5 = 850 \text{ Wp}$

Un sistema tal tendría un costo de US\$ 8,500, para lo que la donación sería suficiente. Las baterías deberán ser lo suficientemente grandes como para cubrir la demanda para 5 días: Tamaño = $5 \times 3,200 \text{ Wh/día} = 16,000 \text{ Wh} = 1,333 \text{ Ah}$ (a 12 Voltios).

Ejercicio 47:

Una batería tiene una capacidad nominal de 90 Ah y un ciclo de vida de 1,200 ciclos, para una profundidad de descarga del 60%. Calcule lo siguiente:

- La capacidad útil durante un ciclo
- La capacidad útil total durante el ciclo de vida

Respuesta:

Las baterías de plomo-ácido no deben descargarse por encima de su capacidad nominal de descarga máxima; de otro modo, su ciclo de vida será muy corto. Para calcular la capacidad útil, aplique la siguiente fórmula:

```
[capacidad nominal (Ah)] \times [profundidad de descarga (%)] = [capacidad útil] 90 Ah \times 60% = 54 Ah
```

Para calcular la capacidad útil durante el ciclo de vida de una batería, emplee:

[capacidad útil (Ah)]
$$\times$$
 [ciclo de vida (ciclos)] = [capacidad útil total durante el ciclo de vida (Ah)] = $54 \times 1,200 = 64,800$ Ah

Ejercicio 48:

Una tarea importante de los técnicos es explicar al usuario de un sistema FV cómo debe operarlo y darle mantenimiento. Practique esta tarea. Divida la clase en grupos de 4 personas. En cada grupo deberá contar con 2 "usuarios" y 2 "técnicos". Los usuarios desconocen el tema y no saben nada acerca de asuntos técnicos. Los técnicos deberán

explicarles cómo opera el sistema y qué es lo que tienen que hacer. Para este ejercicio se puede hacer uso del primer manual de mantenimiento. *Duración: 10 a 15 minutos*.

Respuesta:

A continuación se enumeran las principales reglas que deberán tomarse en cuenta al momento de orientar a los usuarios finales:

- Utilice un lenguaje simple, incluso vernacular, y muchas ilustraciones (como ejemplo, ver el manual de mantenimiento);
- Asegúrese de que su explicación está estructurada en forma clara;
- Responda a las preguntas y observaciones de los "usuarios finales"
- Promueva la interacción y evite hablar demasiado

Luego del ejercicio, permita que los "usuarios" comenten acerca de las habilidades de los técnicos.

Ejercicio 49:

Una vez más, divida la clase en grupos de 4 personas. En esta oportunidad, dos de ellos serán "vendedores" de una compañía de sistemas FV y los otros dos son "compradores" potenciales y muy difíciles. De inicio a las negociaciones para la compra de un sistema de FV y, especialmente, discuta acerca de qué garantías o contratos de servicio puede ofrecer la compañía de sistemas FV. Como es de suponerse, los clientes desean un máximo servicio y garantías, de preferencia sin costo alguno, y la compañía de sistemas FV no desea correr grandes riegos. *Duración: 10 minutos*.

Una vez terminado el ejercicio, permita que el cliente comente acerca de las habilidades de los técnicos.

Ejercicio A.1: Precio de la electricidad

En este ejercicio deseamos electrificar sólo una parte de un pueblo. El consumo total de electricidad es de 1.6 kW (promedio diario) = 38.4 kWh por día = 14,016 kWh por año.

Consideramos 2 sistemas:

- 1. Sistema solar
- 2. Sistema diesel

Para el caso de un sistema solar puede ser mejor emplear muchos sistemas individuales en lugar de un sistema central, de esta manera no se necesita una red; el generador diesel no tiene esta ventaja. Sin embargo en este ejercicio suponemos que los costos de la red son pequeños.

Respuesta:

Sistema solar

La radiación es 5 kWh/m^2 -día (5 horas de radiación de $1,000 \text{ W/m}^2$). Entonces se necesita 38.4/5 = 7.7 kWp = 7,700 Wp en placas solares (alrededor de 90 m^2). El precio de las placas es de US\$ 10 por Wp. La vida útil de las placas es 20 años.

Se necesitan baterías con capacidad de 5 días de consumo de electricidad, que representan $5 \times 38.4 = 192$ kWh. Si se utiliza solo el 70% de la capacidad nominal, se necesita $5 \times 38.4/0.70 = 274$ kWh de baterías. El precio de las baterías es 100 US\$/kWh y su vida útil es 5 años.

Sistema diesel

En la práctica, el generador diesel más pequeño es de 5 kW. Este generador produce aproximadamente 39 kWh en 8 horas. Su vida útil es de 10 años. Dado que el consumo es constante, solo se necesitan baterías para un día ó 39/0.7 = 56 kWh.

La inversión es US\$ 800 por kW de potencia de salida, entonces el generador diesel vale $5 \times 800 = \text{US} \$ 4,000$.

El generador consume petróleo diesel: 0.3 litros por kWh de electricidad. El petróleo cuesta US\$ 0.33 por litro, entonces el precio de la electricidad del generador diesel es US\$ 0.10 por kWh.

SISTEMA	SOLAR	DIESEL
Inversión (una vez) [US\$]		
Número necesario en 20 años	1	2
Inversión en 20 años [US\$]		
Baterías (una vez) [US\$]		
Baterías (en 20 años)		
Inversión en 20 años [US\$]		
Costos de combustible en 20 años [US\$]	0	
COSTOS TOTALES		
Electricidad en 20 años [kWh]		
Precio de la electricidad [US\$/kWh]		

Ahora hacemos el cálculo con el método de descuento. Supongamos que el interés es 20% y la inflación es 10%. Entonces el factor de descuento simple es d = 1.10/1.20 = 0.9167.

Los costos se tienen que establecer por año, multiplicando por el factor de descuento simple d. Las inversiones iniciales se hacen en año cero. Para establecer los costos de petróleo podemos usar el factor de descuento acumulativo D, porque los costos son constantes cada año.

1. Haga los cálculos. Se puede usar los cuadros siguientes:

Sistema: SOLAR	COSTOS (no descontados)	AÑO	d	COSTOS DESCONTADOS
Inversión inicial – placas – baterías		0	1	
Baterías		5		
Baterías		10		
Baterías		15		
COSTOS TOTALES				

Sistema: DIESEL	COSTOS (no descontados)	AÑO	D	COSTOS DESCONTADOS
Inversión inicial – generador – baterías		0	1	
Baterías		5		
Baterías Segundo generador		10		
Baterías		15		
Combustible	1)	1 – 20	2)	
COSTOS TOTALES				

¹⁾ Costos anuales

²⁾ Factor de descuento acumulativo para 20 años

- 2. La producción anual de electricidad es 14,016 kWh, entonces la producción (sin descontar) en 20 años es 280,320 kWh. Ahora calcule la producción con el factor acumulativo de descuento D.
- 3. Compare los precios de la electricidad sin descuento y con descuento.

SISTEMA	SOLAR	EÓLICO	DIESEL
Sin descuento			
Con descuento			

4. ¿Cuál es su conclusión sobre el efecto del uso del método de descuento?

PARTE 2: PRÁCTICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Distribución de tiempo

EJERCICIOS		Duración [horas]		
	EI, ET	M		
1. Medir la Radiación solar	2	0		
2. Medir la energía de una batería nueva y usada	2	0		
3. Dar mantenimiento a una batería de auto	2	0		
4. Reparar y controlar una unidad de control	6	0		
5. Medidas prácticas (circuito abierto y corriente cortocircuito)	1	0		
6. Selección de un lugar para un sistema FV	1	0		
7. Instalación de un sistema FV	4	0		
8. Inspección de una instalación y "resolución de problemas".	2	0		
9. Ejercicio de resolución de problemas	2	0		
TOTAL	22	0		

EQUIPO NECESARIO

Ejercicio 1 - Medidor de Radiación

Ejercicio 2 - Batería nueva y usada

- Instrumentos de control: Voltímetro y Densímetro

- Llave de tuercas y tirador para las abrazaderas de terminales

- Trapo para limpiarse

Ejercicio 3 - Medidores universales

- Líquido de batería

- Trapo para limpiarse

Ejercicio 4 - Unidad de control

- Esquema de la unidad

- Repuestos

Voltímetro

Soldador

Trapo para limpiarse

Ejercicio 5 - Módulo FV

Medidores universales

- Tablero de instrumentos

Ejercicio 6 - Sistema FV

Medidores universales

Medidor de Radiación

Ejercicio 7 - Medidores universales

Medidor de Radiación

EJERCICIOS Y RESPUESTAS

Ejercicio 1: Medir la radiación solar

Divida la clase en grupos. El número de grupos depende de la cantidad de medidores de radiación solar disponibles. Cada grupo practicará los ejercicios con los medidores.

Ejercicio 2: Medir la capacidad de carga baterías nuevas y usadas

Divida la clase en grupos. El número de grupos dependerá de la cantidad de baterías disponibles. Cada grupo practicará los ejercicios con una batería nueva y una batería usada.

Antes de empezar, explique las medidas de seguridad necesarias.

2.1 Método del Densímetro

Preguntas:

¿Cuál es la gravedad especificada de la celda? ¿Es media, alta o baja? ¿Cuáles son las conclusiones de los grupos acerca del estado de carga de la batería? Verifique sus conclusiones.

2.2 Método del Voltímetro

Preguntas:

¿Qué voltaje indica el medidor y cuál es el estado de carga de acuerdo a la tabla? ¿Es medio, alto o bajo? Verifique las conclusiones de los grupos.

Ejercicio 3: Dar mantenimiento a una batería

Antes de empezar con el ejercicio, revise las baterías disponibles. Retire algo del electrolito para que el nivel golpee los electrodos, así como el polvo de la parte superior de la batería, especialmente en las abrazaderas de los terminales.

Divida la clase en grupos. El número de grupos dependerá de la cantidad de baterías usadas disponibles para los ejercicios. Cada grupo practicará los ejercicios con la batería usada, herramientas y un trapo.

Ejercicio 4: Reparar y controlar una unidad de control

Deberá ser realizado basados en la unidad de control disponible.

Ejercicio 5: Mediciones prácticas

De otro modo, divida la clase en cuatro grupos. Cada uno de los grupos ejecutará un ejercicio, es decir, 5.1, 5.2, 5.3 ó 5.4.

Ejercicio 6: Selección de un lugar para un sistema FV

Divida la clase en grupos, de modo que los ejercicios puedan ser realizados en distintos grupos pequeños. Permita que los estudiantes anoten sus hallazgos acerca del lugar cercano de la escuela más apropiado.

Luego de terminado este ejercicio, deje que un representante de cada grupo exponga sus hallazgos.

Ejercicio 7: Instalación de un sistema

Divida la clase en grupos, de modo que los ejercicios puedan ser realizados en distintos grupos pequeños.

Ejercicio 8: Inspección de la instalación y "resolución de problemas"

Antes de empezar con el ejercicio, Ud. puede:

- mover algunos cables
- mover ligeramente el panel hacia otro lado
- cambiar algún fusible bueno por uno que no funcione
- cambiar algunos cables instalados por unos más delgados
- cambiar una luz-TL nueva por una usada
- cambiar la batería nueva por una usada

Reparta la lista de verificación e inspección y la lista de resolución de problemas (ver anexo). Deje que cada grupo revise el sistema instalado siguiendo la lista de verificación

Deje que los grupos llenen la lista y que averigüen si el sistema está funcionando adecuadamente, o qué partes del sistema están fallando.

Después de terminado el ejercicio, haga que un representante de cada grupo exponga sus hallazgos.

Ejercicio 9: Resolución de problemas

Utilice la guía de resolución de problemas.

Deje que los grupos encuentren el problema y las razones por las que el sistema no funciona. Indique que reparen el sistema. Una vez terminado el ejercicio, haga que un representante de cada grupo exponga sus hallazgos.

Impreso en los talleres de GOVI - 4 E.I.R.L

R.U.C. 11080871 Av. Petit Thouars 1887 - Lince Telefax: 265-6273 Lima - Perú