



AULA SOLAR: UN PROYECTO SUSTENTABLE

HORACIO MUNGUÍA AGUILAR*, ARMANDO AYALA
CORONA, RIGOBERTO FRANCO MALDONADO

RESUMEN

Este artículo describe un proyecto sobre la implementación de un aula energéticamente sustentable. Éste consiste de un sistema de generación de energía fotovoltaica y el equipamiento del aula con equipo de bajo consumo de energía en equilibrio con la energía producida por el sistema. La tecnología de las celdas del sistema fotovoltaico propuesto prescinde de baterías de almacenamiento y se conecta directamente a la red eléctrica en una modalidad denominada cogeneración en pequeña escala. Se presentan los aspectos más relevantes del sistema construido y algunos resultados preliminares.

Palabras clave: Sistemas fotovoltaicos, aula sustentable.

ABSTRACT

This paper describes a project on the implementation of a sustainable energy classroom. This project consists of a photovoltaic power generation system and a classroom supported with low power consumption equipment in balance with the energy produced by the photovoltaic system. This system does not use batteries for energy storage but instead is directly connected to the electric grid in a mode termed small scale net-metering. The most relevant aspects of the photovoltaic system and some preliminary results are presented.

Keywords: Photovoltaic systems, sustainable classroom.

M.C. HORACIO MUNGUÍA AGUILAR
Correo: hmunguia@correo.fisica.uson.mx
DR. ARMANDO AYALA CORONA
Correo: armando.ayala@fisica.uson.mx
ING. RIGOBERTO FRANCO MALDONADO
Correo: rfrancom@correo.fisica.uson.mx
Departamento de Física, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: M.C. Horacio Munguía Aguilar
Correo electrónico: hmunguia@correo.fisica.uson.mx
Recibido: 5 de septiembre de 2015
Aceptado: 26 de noviembre de 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años la Universidad de Sonora lleva a cabo múltiples actividades en apoyo a la sustentabilidad –entendida como el proceso que permite la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer capacidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las propias- que actualmente se integran en el denominado Plan de Desarrollo Sustentable de la Universidad de Sonora [1]. En este contexto y con el fin de fortalecer este plan, el Departamento de Física ha iniciado un proyecto de empleo de energía fotovoltaica que sirve como modelo de sustentabilidad energética con todos sus enfoques: ambiental, técnico y educativo. Los objetivos específicos de este proyecto son:

Evaluar los niveles de ahorro de energía eléctrica al alimentar una o varias aulas con un sistema fotovoltaico moderno y empleando cargas eléctricas de bajo consumo.

Acondicionar el sistema fotovoltaico con la instrumentación adecuada para su empleo como campo de pruebas en docencia e investigación.

A continuación se describen con cierto detalle la implementación del sistema fotovoltaico, sus características y primeros resultados obtenidos.

ENERGÍA EN UN AULA

Un aula típica de la Universidad de Sonora de 52 m² (40 alumnos) equipada en forma tradicional presenta, aproximadamente, los requerimientos de potencia eléctrica mostrados en la tabla 1



Tabla 1. Características de consumo eléctrico de un aula típica.

Carga	Consumo (Watts)
Iluminación	480
Aire Acondicionado	3,500 (2,100 ponderado)
Proyector de video	300
Accesorios	300
Total	3,180



Tomando en consideración 10 horas diarias de uso, 36 semanas de actividad anual y ponderando el ciclo de trabajo de los aires acondicionados (factor de 0.60), se ha estimado un consumo anual de alrededor de 5,724 kWh para esta aula.

Es perfectamente posible reducir estas cifras en forma significativa empleando equipo moderno de bajo consumo tal como iluminación LED, pantalla LCD, aire acondicionado CVR y otros. Para el caso que se presenta, en forma provisional, se supondrá equipamiento tradicional en el aula.

De acuerdo a cálculos esta cantidad de energía se puede producir con 25 m² de celdas modernas de silicio, aprovechando la radiación solar característica de Hermosillo [2, 3] en un proceso de compensación anual en donde el déficit de insolación de invierno se recupera con los excedentes de la insolación de verano.

EL ARREGLO SOLAR

En base a los datos anteriores, el sistema fotovoltaico diseñado se integró con 24 paneles de silicio policristalino de 250 W_p (watts-pico) cada uno para un total de 6 kW_p. Se instalaron en la planta alta del edificio 3E del Departamento de Física sobre estructuras triangulares de acero con orientación al sur. El sistema está dividido en tres secciones de 8 paneles cada uno, con estructura de soporte independiente que permiten ajustes en su ángulo de inclinación desde la horizontal hasta 60 grados con el fin de optimizar la captura de radiación solar en las diferentes épocas del año. Las secciones se alinean en paralelo a lo largo del edificio con orientación azimutal 6° SW (Figura 1).

Con una insolación promedio anual de 6.0 horas-sol-pico para Hermosillo [3], y un factor de eficiencia de 0.75

se estima que se generarán alrededor de 9,855 kWh al año, suficientes para el consumo del aula con equipamiento tradicional.

En la actualidad, estas celdas de silicio policristalino dominan el mercado debido a su equilibrio entre precio, eficiencia y durabilidad. En los últimos 10 años el costo de las celdas en general ha disminuido un 60 por ciento, lo que ha ocasionado que el precio por watt de un sistema de generación fotovoltaica ronde los 0.30 watt por dólar [4, 5]. La barrera del precio ya no es más el gran obstáculo que dominaba en el pasado.



Figura 1. Secciones del arreglo fotovoltaico con diferentes ángulos de inclinación.

Un argumento desfavorable al uso de celdas fotovoltaicas es el de su intermitencia, pues solo en las horas de sol se produce energía. Para tener una disponibilidad

continua de energía es necesario apoyarse de un sistema de almacenamiento temporal como las baterías. Este es un inconveniente serio que ha frenado, hasta cierto punto, el desarrollo de las energías limpias como la solar y la eólica. Las baterías no solo incrementan notablemente el costo de un sistema fotovoltaico sino que su todavía muy corto período de vida implica altos gastos de mantenimiento. Sin embargo, en ciertas aplicaciones como la del consumo eléctrico residencial, hay forma de darle la vuelta a este problema.

ARREGLOS FOTOVOLTAICOS SIN BATERÍAS

Siendo las baterías un inconveniente técnico y económico importante en todas las aplicaciones que requieren almacenamiento de energía eléctrica, como en los autos y en los generadores fotovoltaicos, resulta preferible evitarlas si lo prioritario no es la independencia del sistema sino solo su capacidad de generar ahorros de energía. Este es el caso de las zonas urbanas, en donde los edificios y casas habitación pueden hacer uso de la energía solar para reducir los costos de su consumo eléctrico, de una forma limpia, sin tener que renunciar a la conexión de la red eléctrica como el suministro principal. Este tipo de sistema presenta la estructura mostrada en la figura 2.

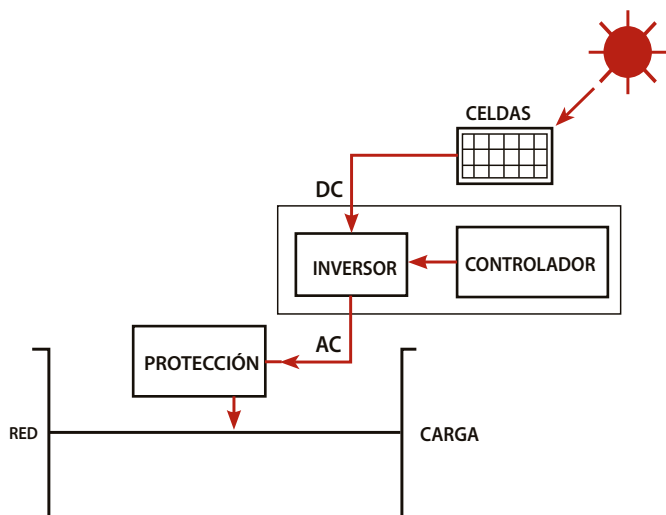


Figura 2. Arreglo fotovoltaico con conexión a la red sin baterías.

El circuito inversor se encarga de convertir la corriente directa de los paneles solares en corriente alterna capaz de inyectarse a la red o de utilizarse en la carga eléctrica doméstica: lámparas, refrigerador, etcétera. El circuito controlador regula la cantidad de energía que se puede inyectar a la red, de acuerdo a diferentes parámetros: nivel de voltaje de la red, disponibilidad de energía, fugas de carga, etcétera. Cuando la red falla, el sistema de control deshabilita la conexión eléctrica del inversor dejando sin energía a la carga. Éste es el principal inconveniente de este tipo arreglos pero debe de entenderse que su objetivo



no es de servir como fuente de respaldo sino como fuente complemento. Por supuesto, se puede modificar el arreglo para evitar estas contingencias pero sería a costa de agregar baterías tal y como se ilustra en la figura 3.

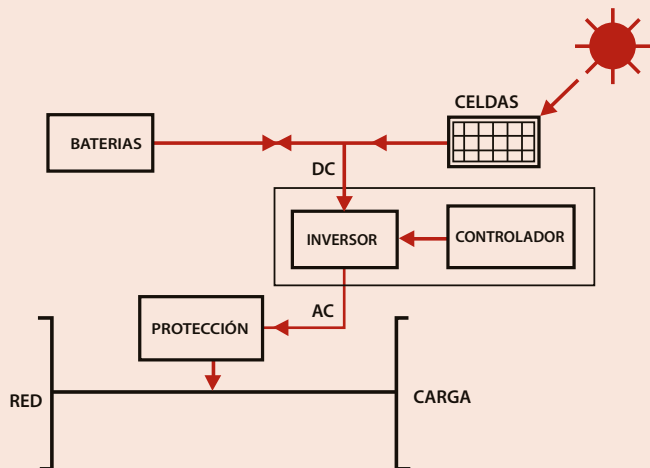


Figura 3. Arreglo fotovoltaico con conexión a la red y respaldo de baterías.

El eslabón más débil en el esquema de la figura 2 es el circuito inversor. Como todo sistema electrónico, los dispositivos que lo integran son vulnerables al manejo de grandes corrientes y/o voltajes por el exceso de

calor producido y los intensos campos eléctricos que se producen.

En años recientes [6] una nueva tecnología de inversores ha surgido, en la que el inversor central es reemplazado por pequeños inversores en cada panel, que se conectan en paralelo con la red eléctrica en forma independiente. Ésta es la tecnología empleada en el sistema fotovoltaico que se propone (Figura 4).

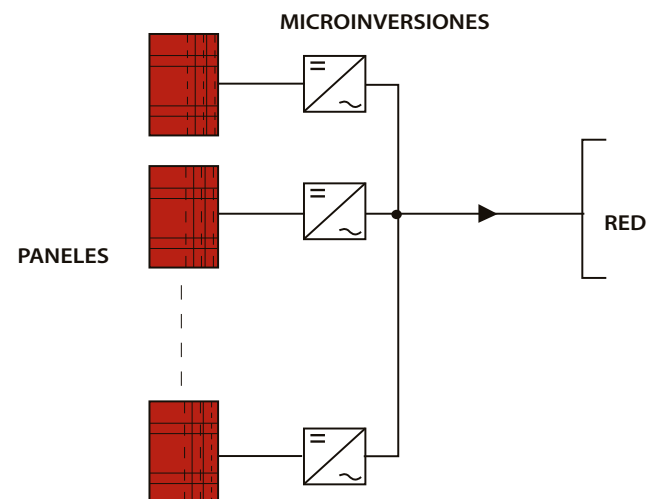


Figura 4. Paneles solares con microinversores conectados directamente a la red.





Estos sistemas, conocidos como sistemas de inversor integrado o microinversor, presentan varias ventajas sobre la tecnología de inversor central:

- Es más compacto y ocupa menos espacio, ya que normalmente se integra en la parte posterior del panel solar.
- Optimiza la eficiencia de los paneles en forma individual mejorando con ello la eficiencia total.
- La falla de uno no produce una falla general del sistema.
- El diseño general de un arreglo se simplifica y su futura ampliación es un proceso lineal.
- Son más versátiles que los inversores centrales y han demostrado mayor confiabilidad.

Cuando se utiliza un arreglo solar con microinversores, el sistema completo es supervisado por un circuito independiente, ubicado a cierta distancia de los paneles y con acceso al usuario. Este circuito lleva a cabo varias funciones: supervisa el funcionamiento de los microinversores, monitorea la energía eléctrica entregada, analiza las situaciones de riesgo propias de estos sistemas, genera información para el usuario, etcétera.

CONEXIÓN A LA RED

Como se ha visto, los microinversores se conectan directamente a la red eléctrica empleando algún elemento de protección como los interruptores termomagnéticos. Ésta es una situación riesgosa que se encuentra

reglamentada por el propietario de la red, que en nuestro país es la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Puesto que el sistema aquí propuesto, en realidad no utiliza la red de la CFE por ubicarse dentro del campus Universitario, la red eléctrica sólo tuvo que apearse a la normatividad de una instalación eléctrica estándar y a las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante del inversor.

SISTEMAS RESIDENCIALES DE COGENERACIÓN

Desde el 2007 la CFE ofrece a los usuarios residenciales la opción de generar su propia energía eléctrica, mediante un generador de energía renovable, conectado a la red en una modalidad denominada Sistema de Cogeneración en pequeña escala. En esta modalidad el usuario instala un pequeño sistema generador de energía eléctrica renovable, típicamente solar o eólica, que se conecta a la red a través de un medidor de energía bidireccional que instala la CFE. Este medidor es capaz de medir la energía consumida por el usuario, como el medidor estándar, pero también puede medir flujo de energía de la residencia hacia la red, en caso de que el generador produzca más energía de la que el consumidor necesite. Se trata de un sistema como el aquí presentado, excepto por el medidor. Si el sistema propio produce más energía que el requerido en el aula, esta energía fluirá hacia las cargas eléctricas más próximas dentro del circuito alimentado por el correspondiente transformador de la red eléctrica local.



RESULTADOS PRELIMINARES

El sistema fotovoltaico se puso en marcha el día 15 de junio del 2015 con siete paneles y su microinversor integrado. Después de una semana de ajustes comenzó a producir de forma estable a partir del día 24 del mismo mes. En la figura 5a se muestra la producción semanal de energía del sistema durante el mes de julio, alcanzando un total de 291.5 kWh. La figura 5b muestra los picos de potencia diaria en este mismo lapso con un promedio de 1.41 kW. Es claro que el día 26 estuvo muy nublado.

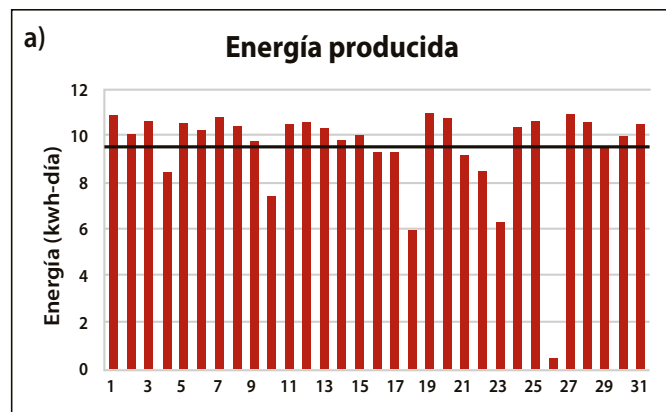


Figura 5a. Energía durante julio de 2015.

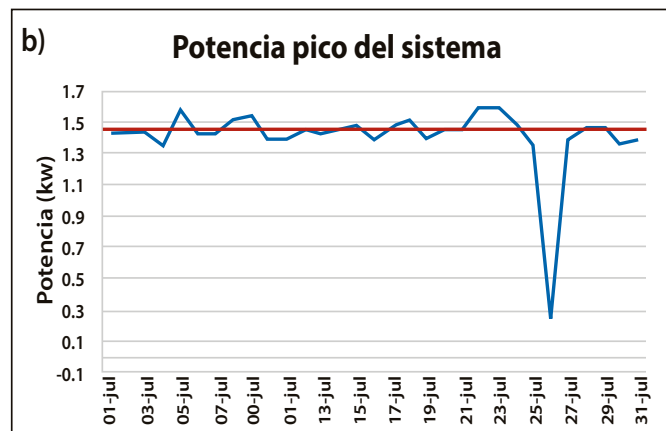


Figura 5b. Potencia pico durante julio de 2015.

La figura 6 muestra el patrón de cambio diario de la potencia recibida en un día típico. El máximo valor ocurre alrededor de las 14:00 horas y fue de 1.39 kW y la energía total ese día fue de 10.87 kWh.

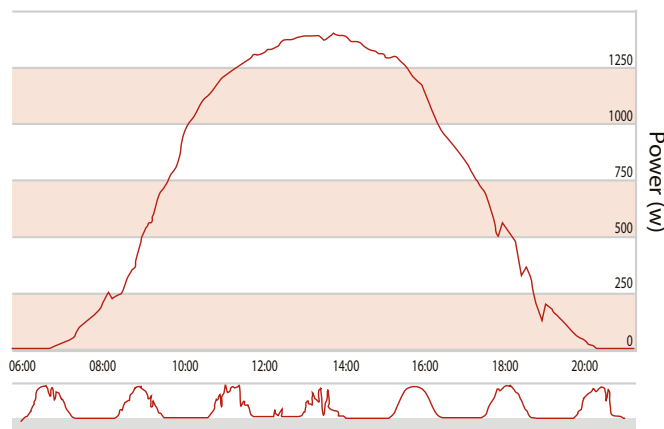


Figura 6. Potencia generada en un día típico de julio de 2015.

Para finales del mes de agosto se tenían en operación 24 paneles fotovoltaicos, con una producción un poco menor al triple de la anteriormente mostrada y en espera de una disminución paulatina de la energía capturada, debido a la declinación solar propia de la temporada. Con esta información se estima que al cabo de un año se cubrirán las necesidades energéticas del aula descritas inicialmente.

LABORATORIO SOLAR

Este sistema fotovoltaico se ha estado equipando con la instrumentación necesaria para convertirlo en un laboratorio o campo de pruebas con fines de docencia e investigación. En la actualidad se dispone del siguiente equipo que permitirán cumplir este objetivo:

- Sistema de control general para la generación de información sobre voltaje, corriente, potencia y energía de cada panel. El sistema se conecta a internet para el envío de esta información, lo que permite su seguimiento desde cualquier lugar en forma remota.
- Dos inversores de 6 kW para pruebas del arreglo fotovoltaico en configuración autónoma.
- Sistema de adquisición de datos para el registro de temperatura, radiación solar y otras variables de interés. Se espera que estas instalaciones se utilicen en los cursos que los diferentes departamentos de la Universidad ofrecen en el área de las tecnologías renovables.

AMPLIACIÓN DEL SISTEMA

Dependiendo de los resultados obtenidos se pretende ampliar el programa de generación fotovoltaica a otros sitios dentro del campus de la Universidad de Sonora. Como una segunda etapa ya se tiene planeada la

instalación de un sistema de 80 kW en el estacionamiento del gimnasio universitario "Alberto Córdova Herrera" de la Unidad Regional Centro. De la misma forma que en el sistema descrito, se pretende asignarle también un perfil didáctico además del energético.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un sistema fotovoltaico que cubre las necesidades de energía eléctrica de un aula estándar en la Universidad de Sonora. Este sistema generará ahorros muy limitados de energía respecto al gran consumo que se tiene en el campus de la Unidad Centro. Sin embargo, será un paso muy importante en el camino de la sustentabilidad que se ha trazado la Universidad, sobre todo porque este sistema tiene un perfil educativo y de promoción del uso de las energías renovables.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Plan de Desarrollo Sustentable de la Universidad de Sonora, Recuperado el 15 de julio de 2015 de: http://www.sustentabilidad.uson.mx/docs/divulgacion/documentode_divulgacion.pdf.
- 2) Solar Electricity Handbook - 2015 Edition, Michael Boxwell, Greenstream Publishing; 2015; ISBN-13: 978-1907670459.
- 3) U. Miranda M., R. Saldaña F. y M. Flor Morales R. Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables (SIGER) en México. Recuperado el 20 de noviembre de 2015 de: <http://www.iie.org.mx/boletin042003/art1.pdf>.
- 4) T.M. Razyko et al., Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects, Solar Energy, vol.11, Enero, 2011.
- 5) G. Parkinson, Why solar cost will fall another 40% in just two years, Renew Economy. Recuperado el 20 de Enero de 2015 de: <http://reneweconomy.com.au/2015/why-solar-costs-will-fall-another-40-in-just-two-years-21235>.
- 6) J. A. Patel and P. D. Solanki, Comparative Analysis of String Inverter and Micro Inverter for Solar Based Power System, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 3, No. 4, April, 2014.

