

Uso eficiente de la energía en sistemas fotovoltaicos autónomos

Manfred Horn M.

Facultad de Ciencias y Centro de Energías Renovables
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
mhorn@uni.edu.pe

RESUMEN

Frente al problema del cambio climático y del creciente costo de los combustibles fósiles, el uso eficiente de la energía es hoy en día una necesidad fundamental en todo el mundo, tal como lo reconoce también en el Perú la Ley 27345 y su recientemente aprobado reglamento. Este uso eficiente es especialmente importante en sistemas fotovoltaicos (SFV) debido al muy alto costo de esta electricidad.

En este contexto, el presente trabajo presenta una revisión de los consumos eléctricos y de la normatividad existente de los equipos usados en SFV, en particular lámparas, refrigeradoras y computadoras.

1. Introducción

El desarrollo humano es íntimamente vinculado con la disponibilidad de energía y la capacidad de usarla. Esto vale para el desarrollo histórico de la humanidad desde el descubrimiento del fuego como también hoy en día para las sociedades industrializadas o en vías de desarrollo.

El actual alto bienestar de parte de la humanidad depende mayormente de la disponibilidad y uso de fuentes fósiles de energía, en particular carbón y petróleo. Al margen que estos son recursos agotables, su uso masivo ya ha producido cambios climáticos, sobretodo un calentamiento global de la tierra con los resultados nefastos sobre el medio ambiente. El bienestar futuro de la humanidad dependerá en gran parte de su habilidad de usar fuentes energéticas en forma sustentable.

Para lograr un futuro energético sustentable, se requiere tomar medidas a largo plazo como también realizar acciones inmediatas. Muy significativo en este contexto es un estudio científico que el Consejo Interacadémico ha publicado en 2007 /1/, con varias conclusiones importantes, en particular:

- Satisfacer las necesidades básicas de energía de la gente más pobre del planeta es un imperativo moral y social que puede y debe ser atendido en armonía con objetivos de sostenibilidad.
- Se debe hacer esfuerzos concertados para mejorar la eficiencia energética y reducir la producción de dióxido de carbono de la economía mundial.
- Las energías renovables en sus diferentes manifestaciones ofrecen oportunidades inmensas para el progreso tecnológico e innovación.

Un reto importante para la humanidad en el siglo XXI es salir de una economía basada en combustibles fósiles hacia una economía basada en energías renovables, sobretodo de energía solar.

Al vez se debe usar más eficientemente la energía en todas sus aplicaciones. Diferentes esfuerzos apuntan, todavía en forma insuficiente, en esta dirección, como, por ejemplo, el programa Energystar /2/ del gobierno americano que hace campañas en favor del uso eficiente de la energía y da sellos de calidad para equipos domésticos eficientes.

Acorde con estas necesidades, en el Perú se han promulgado leyes para promocionar el uso de energías renovables /3/ como también para promocionar el uso eficiente de la energía. Esta última ley, la Ley Nr. 27345, “declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el

suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto negativo del uso y consumo de los energéticos” y fue reglamentada en 2007 /4/.

A parte de estas consideraciones ambientales y macroeconómicas, en el caso de sistemas fotovoltaicos autónomos, SFV, hay un argumento microeconómico muy fuerte para usar la electricidad generada por estos SFV lo más eficientemente posible: mientras que el costo de electricidad en un sistema eléctrico interconectado para un usuario final es actualmente del orden de 0,10- 0,15 US\$ / kWh, el costo de la electricidad generado por un SFV autónomo (que requiere almacenamiento de la electricidad en baterías) es del orden de 1,00 a 1,50 US\$ / kWh, es decir 7 a 15 veces mayor que en el caso de la red interconectada.

2. Iluminación eficiente

El consumo de electricidad para iluminación representa una parte importante del consumo eléctrico global. Por este motivo existen diversos programas e instituciones publicas y ONGs que se dedican al tema del uso eficiente de la energía en iluminación. Mencionamos, como ejemplos, el programa Energystar /2/, el programa internacional “Efficient Lighting Initiative”, ELI /5/, y las ONGs Otherpower /6/ y The Sustainable Village /7/. Mientras las dos primeras se refieren al uso de lámparas eficientes de 220 W AC, las dos últimas se refieren a equipos, en particular lámparas, usados en SFV, usualmente de 12 V DC.

Para diferentes actividades y ambientes, se requiere diferentes niveles de iluminación, medidos en lux.¹ Por ejemplo, para un dormitorio se recomienda una iluminación mínima de 100 lux y para un cuarto de estar de 200 lux (ver, por ejemplo la ref. /8/). Se busca obtener estos niveles de iluminación con la menor potencia eléctrica posible. Para esto hay que considerar que la iluminación depende del flujo luminoso de la(s) lámpara(s) usado(s), pero también de las luminarias y condiciones del ambiente.

La eficiencia de una lámpara se mide en lm / W, es decir los lumen de flujo luminoso que produce cada Watt de electricidad consumido. En el caso de lámparas fluorescentes se debe incluir el consumo del balasto. Diferentes tipos de lámparas tienen eficiencias marcadamente diferentes. Ejemplos típicos son:

Lámparas incandescentes	100 W 10 W	15 lm / W 6 lm / W
Lámparas halógenas	20 W	20 lm / W
LEDs blancos	1 W	15 lm / W
Lámparas fluorescentes	compactos, LFCs 20 W estándar T12, 40 W modernos T8, 32 W	60 lm / W 60 lm / W 90 lm / W
Lámpara de sodio de baja presión	20 W	120 lm / W

Tabla 1: Eficiencia de diferentes lámparas

(En caso de las lámparas fluorescentes se incluye el consumo de balastos electrónicos, en el caso de balastos electromagnéticos, la eficiencia es menor)

De este cuadro resulta que en SFV no se debe usar lámparas incandescentes sino, en lo posible, lámparas fluorescentes. En casos especiales se justifican lámparas halógenas (por su color “más natural” y por permitir usar un “dimmer”) o LEDs (para pequeñas potencias). Hay que anotar que la eficiencia de LEDs blancos modernos está aumentando, de tal forma que se puede prever que pronto LEDs serán apropiadas para muchas aplicaciones, considerando sobre todo su larga vida. Para iluminación de seguridad (en exterior), si no es importante el color, conviene usar lámparas de sodio de baja presión (de luz amarillo).

Como ejemplo de la conveniencia económica de usar LFCs en vez de lámparas incandescentes, a pesar del mayor costo de los primeros, se presenta una estimación de costos: Con un SFV con un panel fotovoltaico de 50 Wp, que cuesta \$ 600 (incluyendo batería etc.) se puede usar en climas solados, típicamente, 180 Wh/día de electricidad. Esto permite usar 3 LFC de 15 W durante 4 h/día . Si se usaría lámparas incandescentes, para obtener el mismo flujo luminoso se requiere 3 lámparas de 60 W, consumiendo 720 Wh/día y requiriendo un SFV de 200 Wp, con un costo de \$ 2400.

¹ El flujo luminoso de una lámpara, que considera la sensibilidad del ojo humano para luz de diferentes colores, se mide en lumen (lm) y la iluminación en lux (lx): 1 lux = 1 lumen / m².

Como ya indicado, lo que realmente se requiere, es una determinada iluminación, según el caso. Suponiendo una distribución uniforme del flujo luminoso Φ (medido en lumen) de una lámpara en todas direcciones, la iluminación I (medido en lux) producido por la lámpara a una distancia de d metros es

$$I = \Phi / 4\pi d^2.$$

Una lámpara con un flujo luminoso de 1200 lumen (p.ej. una LFC de 20 W) produce a 1 m de distancia una iluminación de $I = 1200 / 4\pi \approx 95$ lux, pero a 2 m de distancia solamente 23 lux.

Sin embargo, a parte de la iluminación directa se tiene generalmente una iluminación indirecta, generada por la reflexión difusa de la luz en techo y paredes. La intensidad de esta iluminación indirecta depende de la geometría del ambiente y, sobre todo, de la reflectancia ρ de las paredes y techo.

Reflectancia $\rho = \text{intensidad reflejada} / \text{intensidad incidente}$.

Bajo ciertas simplificaciones (esfera Ulbricht) se puede demostrar que la iluminación indirecta I_d es

$$I_d = (\Phi / 4\pi d^2) \cdot \rho (1 - \rho),$$

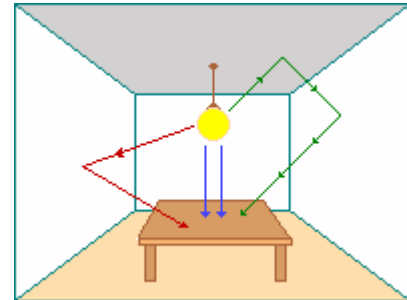


Fig 1: Iluminación directa e indirecta/8/

es decir la iluminación indirecta es $\rho (1 - \rho)$ veces la iluminación directa. Suponiendo una reflectancia promedia de paredes y techo de $\rho = 0,8$ (80 % de la luz incidente sobre techo y paredes es difusamente reflejada), se tiene que la iluminación indirecta es $0,8 / (1 - 0,8) = 4$ veces la iluminación directa. La iluminación total, directa más indirecta, es entonces 5 veces la iluminación directa.

Este ejemplo ilustra la influencia del color de las paredes y del techo sobre el nivel de iluminación en una habitación: una iluminación eficiente requiere paredes y techos blancos.

Por otro lado, en ciertas aplicaciones se requiere una buena iluminación sobre un área limitado y solamente una iluminación baja en el resto de un ambiente.

Ejemplo (Fig. 2): sobre un tablero de dibujo de 2 m^2 se requiere una iluminación de $I = 600$ lux. Esto se puede obtener con una lámpara de 1200 lm, si todo su flujo luminoso es dirigido al tablero de dibujo:

$$I = \Phi / \text{área} = 1200 \text{ lumen} / 2 \text{ m}^2 = 600 \text{ lux}.$$

Para lograr esto, se requiere una luminaria apropiada, que refleja toda la luz generada en la lámpara hacia el tablero.



Fig.2: Iluminación localizada /8/

Estos ejemplos demuestran la importancia de usar lámparas eficientes, luminarias apropiadas (sobre todo, que no absorben luz, por ejemplo, debido a suciedad), y ambientes con techo y paredes bien claros.

La norma técnica peruana NTP 399.403-2006 "Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp" /9/, que es de carácter voluntario, indica una serie de especificaciones técnicas que debe tener un SFV y sus componentes. Como única carga están incluidos lámparas, que deben tener las siguientes especificaciones:

- Para uso continuo deben ser lámparas fluorescentes, con una vida útil mínima de 5000 horas. Para usos no continuos se permite también LEDs y lámparas incandescentes hasta 2 W.

- La eficiencia luminosa mínima debe ser de 35 lm / W para lámparas fluorescentes hasta 15 W, y 45 lm / W para lámparas fluorescentes de más de 15 W. En caso de lámparas incandescentes (de una potencia máxima de 2 W), se pide una eficiencia mínima de 5 lm / W.

3. Otras aplicaciones en SFV

Similar al caso de iluminación, también todas las otras aplicaciones usadas en SFV requieren equipos de alta eficiencia. En cada caso hay que estudiar cuidadosamente los requerimientos de energía. Los ejemplos que se presentan aquí se refieren a necesidades de refrigeración y de computación, que, después de iluminación, representan aplicaciones comunes y en cuales muchas veces no se considera debidamente las posibilidades de usar equipos de alta eficiencia.

Refrigeración

Para conservar alimentos o medicamentos se requiere usualmente temperaturas debajo de la temperatura ambiental. Si la diferencia entre la temperatura requerida en la cámara fría y la temperatura ambiente máxima es menos de 15 – 20 °C, se puede usar refrigeradoras tipo Peltier, generalmente en forma de “cajas frías” (“coolers”). Estas refrigeradoras son muy adecuadas para pequeños volúmenes, generalmente de 50 litro o menos, de costo relativamente bajo, y muy popular para picnics y campamentos, usando los 12 V DC de autos como fuente energética. Para necesidades de volúmenes mayores, (o si se requiere temperaturas menores de 20 ° por debajo de la temperatura ambiente), se requiere refrigeradoras, o congeladoras, que usan un refrigerante y un compresor eléctrico, cuya eficiencia es muy superior a la de las refrigeradoras Peltier.

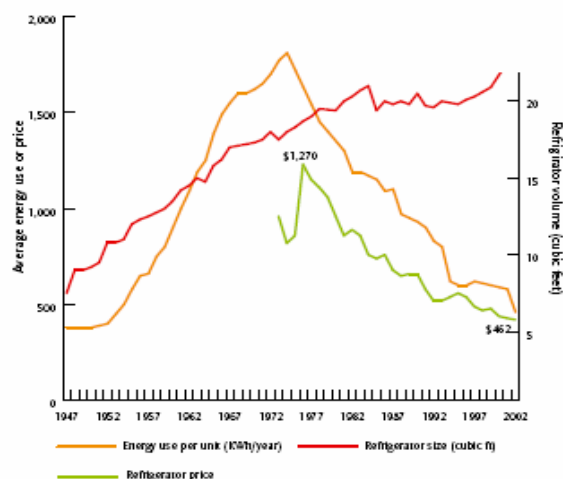


Fig.3. Consumo de refrigeradoras en USA /1/

Los requerimientos de energía eléctrica de una refrigeradora dependen fuertemente del diseño y material usado en la construcción de la cámara fría de la refrigeradora, a parte de la eficiencia de la bomba de calor (compresor) usado para bombear calor del frío interior al ambiente. Hay que anotar que la eficiencia de las refrigeradoras domésticas ha aumentado significativamente en los últimos años, como indica la fig 3.

En un SFV se usa refrigeradoras especiales, llamadas “refrigeradoras solares”, que tienen un aislamiento grueso, lo que aumenta su costo, pero reduce su consumo de electricidad y, por lo tanto, el tamaño del SFV requerido. Típicamente una refrigeradora solar consume menos de la mitad de una buena refrigeradora normal (con sello Energystar). Por ejemplo, una refrigeradora común de 200 l capacidad puede requerir 2 kWh/día, una buena refrigeradora del mismo tamaño puede requerir 1 kWh/día y una “refrigeradora solar” del mismo tamaño 0,5 kWh/día. El ahorro en paneles fotovoltaicos justifica usar una “refrigeradora solar”, a pesar de que puede costar el doble de una refrigeradora normal.

Computación

Otra de las aplicaciones usuales de la electricidad generada con SFV es la computación electrónico. También en este campo hay muy grande diferencias de consumo de electricidad.

Una PC común consume típicamente 90 -140 W, sin considerar el monitor. Un monitor CRT de 17” consume alrededor de 75 W, mientras un monitor de LCD del mismo tamaño requiere 20 W. Por otro lado, una Laptop consume alrededor de 15 W.

De esos datos se deduce que en un SFV no se debe usar monitores tipo CRT. Consideramos un uso diario de 8 horas, el mayor consumo de electricidad, en comparación con un monitor LCD, es del orden de 440 Wh/día, lo que requiere aumentar el SFV por unos 120 Wp, con un costo del orden de US\$ 1500, muy superior al costo del monitor LCD. Mayor ahorro de electricidad se tiene si se usa solamente computadoras Laptop.

4. Conclusiones

Debido al alto costo de la electricidad en un SFV, conviene usar en estos sistemas solamente aparatos eléctricos que tengan la mayor eficiencia energética disponible en el mercado, a pesar que estos equipos pueden ser más costosos que otros equipos menos eficientes y adecuadas para aplicaciones en redes eléctricas. Este mayor costo es compensado largamente por la correspondiente disminución del costo del SFV requerido, causada por la reducción en el tamaño del panel fotovoltaico y de la capacidad de la batería requeridos para estos aparatos de alta eficiencia energética.

Bibliografía

- /1/ “Lighting the way toward a sustainable energy future”, InterAcademy Council, 2007; publicado en www.interacademycouncil.net
- /2/ Energystar, www.energystar.gov
- /3/ “Decreto Legislativo de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables”; DL Nr.1002 (01.05.08)
- /4/ “Reglamento de la ley de promoción del uso eficiente de la energía”; DS Nr. 053-2007-EM, (23.10.07)
- /5/ ELI, Efficient Lighting Initiative, www.efficientlighting.net
- /6/ Other Power, www.otherpower.com
- /7/ The Sustainable Village, www.thesustainablevillage.com
- /8/ “Luminotècnia”, curso de la Universidad Politècnica de Catalunya, en <http://edison.upc.edu/curs/ilum/>
- /9/ Norma técnica peruana NTP 399.403-2006: “ Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para la calificación energética de un sistema fotovoltaico.”