

¿Por dónde está el sol?



1. Imagen satelital de la ciudad de Cuernavaca mostrando el libramiento de la autopista que la rodea por el lado oriental (foto de googlemaps, ©Google 2013, INEGI, Terrametrics, Abril 10, 2013).

W. Luis Mochán Backal

Investigador del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Es un espectáculo muy divertido, aunque es muy probable que usted no se haya dado cuenta aún. Si no lo ha visto aún, suba a su auto, o pída a algún amigo que lo lleve a pasear, y recorran el libramiento de la autopista que rodea la ciudad de Cuernavaca por su lado oriente (ver mapa en la figura 1). Cuando termine su recorrido regrese a continuar esta lectura.

¿Ya volvió? ¿Vio a lo que me refiero? ¿Que no vio nada extraño? Bueno, tómese otra oportunidad y recorra de nuevo el libramiento pero fíjese bien en los postes erigidos a lo largo del camino.

Ahora sí se dio cuenta, ¿verdad? Seguramente vio postes de todos tipos. Entre ellos habrá notado un conjunto de postes nuevos. Algunos parecen preparados para recibir cámaras de video, otros tendrán teléfonos de emergencia, pero la mayoría se parecen al poste ilustrado en la ilustrada en la figura 2, el cual parece que tendrá una luminaria para abatir la oscuridad en la autopista durante las noches. Lo novedoso de este poste es que además, tiene una placa colocadas en su extremo superior. Estas placas son para sostener celdas solares o fotovoltaicas. La intención de colocarlas en los postes parece ser excelente [ver referencia 1]: usando celdas solares se puede obtener energía eléctrica durante el día a partir de la luz solar. Dicha energía podría almacenarse en baterías para ser empleada durante la noche cuando se requiere encender las luminarias. También podría enviarse dicha

energía a la red de distribución de potencia eléctrica operada por la Comisión Federal de Electricidad, disminuyendo los requerimientos de generación de energía en las plantas de la CFE durante el día. Al total de energía consumido durante las noches por las luminarias se podría restar la energía entregada a la red durante el día disminuyendo o incluso eliminando el pago por el empleo de energía. Dado que la ciudadanía, usted y yo, pagamos mediante sus aportaciones fiscales o impuestos los gastos derivados de la operación del alumbrado público, no podemos más que aplaudir la decisión de disminuirlos mediante el empleo de fuentes de energía sustentables como la solar.

Pero ¿por qué afirmé que el espectáculo es divertido? ¿Aún no se da cuenta? Fíjese con cuidado y observe la orientación de los paneles solares. Por ejemplo, la figura 2 muestra un panel inclinado hacia el occidente, aproximadamente. Sin embargo, si se fija con cuidado, verá cerca del extremo inferior izquierdo de la foto otro poste a la distancia, cuyo panel solar está inclinado ¡hacia el norte! Observe ahora la figura 3. Del lado izquierdo muestra un poste con un panel solar inclinado hacia el occidente. Sin embargo, el panel solar que se halla del lado derecho de la imagen, pasando el puente peatonal, está inclinado hacia el oriente. Conforme recorra el libramiento podrá observar que las celdas de cada poste tienen orientaciones arbitrarias, apuntando unas al norte y otras al sur, al este o al oeste, al sureste, suroeste, noroeste y noreste por igual. Se ven como un grupo escolar de párvulos indisciplinados, incapaces de formarse ordenadamente.

¿Qué importancia puede tener eso?

De observar dichos paneles solares uno podría concluir que los encargados de colocarlos no sabían que debieron orientarlos en la misma dirección. No es que exista un reglamento que los obligue a orientarlo de una u otra forma, sino que hay una orientación óptima, la idea para maximizar la cantidad de energía que se puede obtener del Sol, y un buen instalador debería saber cuál es ésta. También parecería ser que no hubo supervisión en esas obras, o que el supervisor tampoco sabía cómo se deben colocar los paneles. Dado el elevado costo de las celdas fotovoltaicas, es importante usarlas de la manera más eficiente posible para poder recuperar la inversión realizada.

¿Por qué deben orientarse de alguna forma particular? ¿No basta con que las superficies fotovoltaicas apunten hacia arriba? La cantidad de energía eléctrica que produce una celda solar es proporcional a la cantidad de energía luminosa que recibe. Por ejemplo, una celda comercial de silicio multicristalino con una eficiencia de 14% [ver referencia 2] podría generar alrededor de 140W por cada metro cuadrado si recibiera la luz solar a plomo en ausencia de nubes, puesto que la irradiación solar en la superficie de la tierra es aproximadamente 1kW/m²=1,000W/m². Aquí, W denota un Watt, la unidad de potencia, o sea, de energía por unidad de tiempo; a su vez, un Watt es un Joule cada segundo y un Joule es la cantidad de energía cinética que tendría una masa de dos kilogramos que viaja a una velocidad de 1 metro por segundo o 3.6 kilómetros por hora. La cantidad de energía que llega cada segundo a nuestra atmósfera es de 1,361 W por cada metro cuadrado [ver referencia 3], pero no toda ella llega a la superficie de la tierra pues antes parte es esparcida o absorbida. Sin embargo, cuando la luz solar no viaja en la dirección perpendicular a la superficie, la cantidad de energía que cae sobre cada metro cuadrado disminuye, como se ilustra en la figura 4. De hecho, la potencia que recibe una superficie es proporcional la sección transversal del haz luminoso que sobre ella incide, es decir a la proyección perpendicular de la superficie sobre la dirección de propagación de la luz. Quienes hayan estudiado un curso de trigonometría reconocerán que dicha proyección es a su vez proporcional al coseno del ángulo entre la dirección que apunta hacia la fuente luminosa (al Sol) y la dirección normal a la superficie.

Usando el simple resultado enunciado en el párrafo pasado, podemos calcular cuánta luz recibe una celda solar de acuerdo a su orientación. Es necesario recordar que la Tierra tiene un movimiento de translación que la conduce en el transcurso de un año a completar

una vuelta alrededor del Sol formando una órbita elíptica (aunque casi circular) que descansa sobre un plano, el cual se conoce como la eclíptica. Asimismo, la Tierra gira sobre su propio eje dando una vuelta cada día sideral. El tiempo promedio entre una salida del Sol y la siguiente es un día solar, el cual dura un poco más que el día sideral. Ud. podrá convencerse fácilmente de que un año, que consta de aproximadamente 365 días solares, tiene 366 días siderales, es decir, la tierra da una vuelta más sobre su eje que el número de días transcurridos en el año. El eje de la tierra está inclinado con respecto a la dirección normal a la eclíptica un ángulo de 23.4 grados. Es por ello que en el verano el Sol parece hallarse más al norte, y en el invierno parece estar más al sur, lo cual es responsable del cambio estacional del clima. Con esta información y haciendo un poco de ejercicio trigonométrico, podemos calcular el coseno del ángulo entre la dirección el Sol y la normal a la superficie de una celda solar, y así averiguar cuanta potencia puede recibir dicha celda.

Para ilustrar esto, en la figura 5 mostramos cuanta potencia luminosa disponible caería sobre dos paneles solares idénticos pero colocados muy al norte, a una latitud de 70 grados, un poco más allá del círculo polar ártico. Para permitir visualizar más fácilmente el resultado, se muestra no para nuestra Tierra, sino para un planeta hipotético, similar a la Tierra pero con un giro muy lento alrededor de su eje, de manera que el año tendría sólo 10 largos días en lugar de nuestros 365 días habituales. En la gráfica, el eje horizontal mide el tiempo transcurrido a partir del mediodía del solsticio de verano, cuando el sol aparenta hallarse lo más al norte que puede llegar. El eje vertical corresponde a la potencia que generaría nuestra celda y está normalizado de manera que el número 1 represente la potencia que generaría la celda si el Sol la iluminara de frente. La curva delgada roja corresponde a la potencia que generaría una celda colocada horizontalmente, por ejemplo, descansando en el piso. Notamos que la curva toma valores a veces positivos (curva roja sólida) y a veces toma valores negativos (curva roja a trazos). Los valores negativos corresponden a cuando el Sol se halla debajo del horizonte. En este caso, el Sol iluminaría a nuestra celda solar por detrás si la Tierra fuera transparente. Sin embargo, la Tierra es opaca y estas regiones corresponden a la oscuridad de la noche en que las celdas fotovoltaicas no reciben energía alguna. Por lo tanto, debemos truncar la curva roja y sólo poner atención a la región positiva. También notamos en la curva roja que los días duran más que las noches en el verano y menos en el invierno. De hecho, como escogimos un punto más al norte del círculo polar, hay entre noches,



2. Postes en el libramiento de la autopista con receptáculo para luminarias y con un panel de celdas solares en el extremo superior.

como aquella entre los días 0 y el 1 y entre los días 9 y 10, en que el Sol no se oculta bajo el horizonte, sino que ilumina toda la noche. Por otro lado, el día 5, durante lo más crudo del invierno, el Sol no se asoma arriba del horizonte. La curva gruesa verde representa la energía que produciría la misma celda solar si la inclináramos 30 grados hacia el sur y 45 grados hacia el este. Estos ángulos no significan nada en particular y fueron escogidos al azar para ilustrar nuestros resultados. Vemos que algunos días a algunas horas la celda solar inclinada produce más electricidad que la celda horizontal, mientras que para otros días y a otras horas produce menos.

Como ilustra la figura 5, la potencia eléctrica proporcionada por un panel solar puede ser mayor o menor dependiendo del día del año y de la hora del día. Por lo tanto, es de esperarse que la energía eléctrica total producida a lo largo de todo el año también dependa de su orientación. Podemos verificar esto en la figura 6, la cual muestra dicha energía para distintas inclinaciones norte-sur y este-oeste del panel. La figura 6 está calculada con datos realistas correspondientes a la ciudad de Cuernavaca, Morelos.

Un análisis de la figura 6 muestra que la energía producida por una celda fija a lo largo del año es máxima cuando ésta se desvía de la horizontal 19 grados hacia el sur y cuando no se desvía ni hacia el este ni hacia el oeste. Esta condición es interesante, pues Cuernavaca se halla 19 grados al norte del Ecuador. Por lo tanto, con la orientación óptima el eje de la Tierra sería paralelo a la superficie del panel solar. Por lo tanto, para obtener la cantidad óptima, una regla simple consiste en rotar todos los paneles solares hacia el

CONTINÚA EN LA PÁG. 39

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



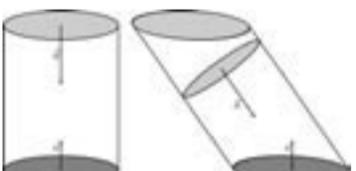
3. Otros postes similares a los de la figura 2, pero con otras orientaciones.

CONTINÚA EN LA PÁG. 36

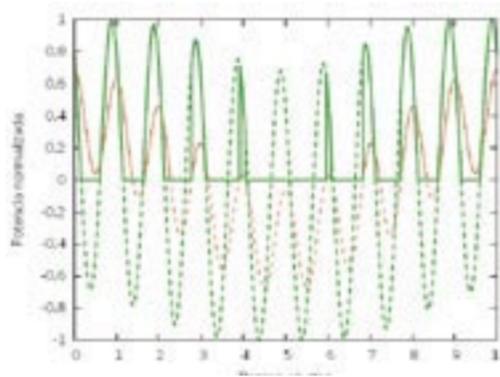
sur por un ángulo igual a la latitud de donde se coloquen (la rotación sería hacia el norte si los instaláramos en el hemisferio sur). Es por ello que parece tan extraño el desorden con el que se han colocado los paneles solares en el libramiento de la autopista en Cuernavaca, conduciendo a un desperdicio. Espero haberlo convencido que un poco de geometría nos puede ahorrar mucha energía.

Referencias

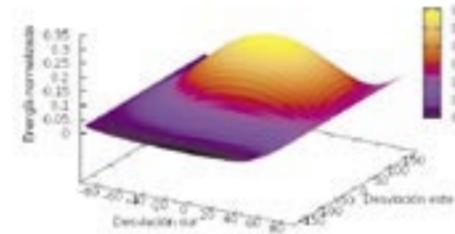
1. Para una discusión de sistemas solares y su diseño vea Generar Electricidad en Casa de J. Antonio del Río y Mireya Galli, en La Unión de Morelos del 7 de octubre de 2013, disponible en <http://www.acmor.org.mx/?q=content/generar-electricidad-en-casa>. También vea Una realidad: electricidad generada con energía solar a un costo inferior a la producida quemando carbón, por Antonio Sarmiento Galán, en La Unión de Morelos del 11 de marzo de 2013, disponible en <http://www.acmor.org.mx/?q=content/una-realidad-electricidad-generada-con-energ%C3%AD-solar-un-costo-inferior-la-producida-quemando>.
2. Puede leer sobre la eficiencia de distintos tipos de celdas solares en Solar Cell Efficiency, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_efficiency#Solar_cells_and_energy_payback
3. Ver la definición y la medición de la constante solar en http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_constant.



4. Haz luminoso que cae sobre una superficie S. Del lado izquierdo el haz cae verticalmente, mientras que del lado derecho cae oblicuamente. Todos los fotones que llegan a la superficie tienen que pasar antes por la superficie S', la sección transversal del haz, la cual es más pequeña que S. Por tanto, la potencia luminosa que llega a S disminuye conforme más grande es el ángulo entre la dirección del haz y la normal a la superficie. Se ilustran ambas direcciones mediante flechas.



5. Potencia eléctrica producida por un panel solar horizontal (línea delgada roja) y una otro inclinado 30 grados al sur y 45 al este (línea gruesa verde), ambas colocadas a una latitud de 70 grados norte, más allá del círculo polar, en un mundo similar a la tierra pero en el cual el año constara de sólo 10 largos días. Las líneas punteadas corresponden a situaciones en que la cara frontal de las fotoceldas se halla en la sombra, mientras que las líneas continuas corresponden a cuando se halla iluminada.



6. Energía eléctrica total producida durante un año como función de su orientación. El resultado está normalizado a la que energía que produciría si siguiera al Sol.

yoo

QUIERO TODO CONTIGO

TV, INTERNET Y TELEFONÍA

PRECIO ESPECIAL POR 3 MESES DEL PAQUETE YOO 3P ILIMITADO

DESDE \$379

\$554 PRECIO REGULAR

3 MESES DE TELEFONÍA GRATIS

Contáctanos
01 800 522 2530
www.cablemas.com

*Precio promoción por los primeros tres meses de \$379 del paquete [YOO 3P ilimitado] con precio regular de \$554 u con Cargo Automática Mensual de \$528. Promoción válida al 31 de diciembre de 2013. Consulta más información, otros términos, condiciones, cobertura y disponibilidad en oficinas Cablemás o al 01 800 522 2530.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx