

Modificación en la manera de calcular la energía total que producen las celdas solares de los sensores remotos de la Universidad de Alberta

Modification in the way of calculating the total energy produced by the solar cells of the remote sensors of the University of Alberta

Ana Lucía Moya-Mora¹

*Fecha de recepción: 19 de agosto de 2014
Fecha de aceptación: 18 de setiembre de 2014*

Moya-Mora, A. Modificación en la manera de calcular la energía total que producen las celdas solares de los sensores remotos de la Universidad de Alberta. *Tecnología en Marcha*. Edición especial Movilidad Estudiantil 2014. Pág. 77-82.

Palabras clave

Sensores remotos; celdas solares; radiación luminosa; radiación absorbida; algoritmo.

Resumen

El artículo presente propone una mejora en la forma de calcular la cantidad de energía que producen las celdas solares de los sensores remotos construidos en la Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá. De esta manera, se determinó que para los sitios en los que se tienen instalados los dispositivos, las celdas deben colocarse con un ángulo de 25°. Además, se planteó el cálculo de la cantidad de radiación absorbida por la cubierta del sensor; de esta manera se modificó el dato correspondiente a la cantidad de radiación luminosa total que llega a las celdas y se propone agregar estas fórmulas al algoritmo utilizado para calcular la energía total que estas producen. Por último, se señalaron los cambios generados en el cálculo de la cantidad de energía total a raíz de las modificaciones anteriores.

Key words

Remote sensors; solar cells; radiation; absorbed radiation; algorithm.

Abstract

The present article proposes an improvement in the calculus of the amount of energy produced by the solar cells of remote sensors built in the University of Alberta, Edmonton, Canada. Thereby it was determined that for those sites where the University have installed the devices, the cells must be placed on an angle of 25°. Besides it was posed the calculus of the amount of radiation absorbed by the sensor cover, thus it was modified the corresponding value of maximum radiation amount that reaches the cells and it is proposed to add these formulas to the algorithm used to calculate the total energy produced by the solar cells. Finally, it were pointed out the changes brought in the calculation of the total amount of energy as a result of above changes.

Introducción

La ciencia de los sensores remotos ha emergido con gran fuerza las últimas tres décadas. El uso de estos ha generado una mejora en el monitoreo de la dinámica de la superficie terrestre (Joseph, 2005). De esta manera, han permitido profundizar muchas investigaciones así como llevar un control más preciso de las condiciones de la Tierra. Estos sensores han tomado gran relevancia, entre otras razones, debido al impacto cada vez mayor que los humanos tenemos en el ambiente, pues se requiere un monitoreo más detallado con el fin de obtener la información necesaria para tomar decisiones y plantear acciones.

Los sensores remotos son dispositivos por medio de los cuales se pueden hacer inferencias sobre objetos a distancia, es decir, sin estar en contacto físico directo con los objetos en estudio (Campbell y Wynne, 2011). En lo que se refiere a su diseño, intervienen muchas características propias de cada sensor; dentro de las más relevantes está la variable que el sensor debe monitorear; además la energía

que necesitan para funcionar; el tamaño que desee que tenga el dispositivo, el lugar en el que se pretenda colocar entre otros.

La selección de fuente de energía es de gran importancia, pues la idea es colocarlos en sitios lejanos y relativamente aislados, así que la fuente debe asegurar que el sensor siempre cuente con energía suficiente para que el sistema funcione adecuada y constantemente. Las celdas solares son una muy buena opción pues estas obtienen energía de la radiación luminosa e independientemente si el sitio recibe una mucha o poca cantidad de radiación luminosa del sol, a la tierra llegará algún tipo de radiación que le permitirá producir energía.

Se debe procurar obtener el máximo desempeño de las celdas solares. Un aspecto vital es el ángulo de inclinación en el que estas se coloquen, de manera tal que se logre captar la máxima cantidad de radiación luminosa. Al determinar el ángulo óptimo, se deben tener en cuenta una serie de variables, como la latitud del sitio, la estación, la cantidad de sombra

que los objetos de los alrededores generen (Mehleri, Zervas, Sarimveis, Palyvos y Markatos, 2010).

El momento en el que se obtiene la mayor radiación sobre el panel es cuando luz solar incide perpendicularmente sobre él (Chen, Lee y Wu, 2005). Por ello que los “paneles girasol” son usualmente recomendados, pues estos siguen la luz solar, de manera que se procura que esta incida perpendicularmente sobre él la mayor cantidad de tiempo posible. Sin embargo, los gastos de instalación, operación y mantenimiento aumentan significativamente. Ahora bien, una estructura fija tiene menor costo de instalación, operación y mantenimiento, aunque no capta toda la radiación luminosa posible (Chen *et al.*, 2005).

En este artículo se trabaja con las celdas solares de los sensores remotos elaborados en la Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá. Como las celdas solares son la única fuente de energía de los sensores, se debe tratar lo referente a estas con especial cuidado; por ejemplo, todos los cálculos necesarios para su diseño. Así, pretende encontrar un ángulo adecuado para colocar las celdas solares, además de mejorar la forma en la que se calcula la energía que se puede obtener de estas, introduciendo la reducción de radiación que le genera la cubierta de plástico del sensor y así tener una nueva eficiencia de las celdas.

El conocimiento generado aquí puede ser útil para posteriores diseños de dispositivos que requieran celdas solares, y es aún más útil para los que tengan alguna cubierta sobre las celdas.

Ángulo ideal para colocar las celdas solares

Las celdas solares de los sensores remotos diseñados en la Universidad de Alberta cuentan con un sistema de ángulo fijo, pues se busca que el sistema sea lo más compacto y económico posible.

La idea es desarrollar un dispositivo que desempeñe de la mejor manera en los sitios en los que la Universidad de Alberta tiene colocados los sensores remotos. Como se mencionó anteriormente, lo más recomendable es adaptar el ángulo dependiendo de la latitud del lugar en el que se vaya a colocar para que se capte la mayor cantidad de radiación posible, pero por efectos de practicidad en el diseño del sensor se plantea un único ángulo para todos los

sitios, así se tendrá un sensor que puede ser colocado en cualquier sitio.

Se ha demostrado que el ángulo es una variable un tanto despreciable. Según el estudio hecho en Hannover, Alemania, por Beringer, Schilke, Lohse y Seckmeyer, (2011), la mayor diferencia, en cuanto al punto máximo de potencia (P_{md}) y el ángulo es de 10%, es decir, entre 70° y 0° solo se observa un 10% de variación en el P_{md} , siendo el P_{md} el punto en el cual la curva de intensidad y de voltaje alcanzan su máximo punto, en otras palabras, es el punto en el cual se logra generar la mayor cantidad de energía (Chiras, 2009). Vale la pena aclarar que este estudio se realizó en latitudes medias-altas. Así que diseñar las celdas solares del sensor remoto con un mismo ángulo para todas las zonas en las que se trabaja no va a tener un impacto determinante en la energía que logre producir el sistema, logrando un desempeño adecuado de las celdas.

De igual forma, se debe seleccionar un ángulo que se adapte a las condiciones planteadas. En general, el ángulo ideal suele corresponder con la latitud del lugar (Benghanem, 2011) o bien, $\pm 10^\circ$ la latitud del sitio (Beringer et al, 2011). Estos sensores, que en su mayoría son usados para monitorear zonas boscosas, se encuentran instalados en Canadá, Estados Unidos, México, Costa Rica, Venezuela y Brasil. El promedio de latitudes de estos países corresponde a 24° , pero para efectos prácticos se recomienda usar 25° . Su orientación dependerá del hemisferio en el cual se coloque el dispositivo; es decir, si se encuentra en el hemisferio norte, las celdas del sensor deben estar viendo hacia el sur y viceversa (Mehleri et al, 2010).

A continuación, se analizará la implicación que la inclinación de 25° pueda tener de manera general en los diferentes sitios. En el caso de Estados Unidos (lat. promedio 38° N), Brasil (lat. promedio 10° S), México (lat. promedio 23° N), Costa Rica (lat. promedio 10° N), Venezuela (lat. promedio 8° N) el desfase no es tan apreciable, en la mayoría de los casos por pocos grados no se logra alcanzar los la regla de latitud del sitio $\pm 10^\circ$. Pero como Beringer et al (2011) afirma, una diferencia de 10° difícilmente podría afectar el rendimiento así que, teóricamente, es muy poco probable que el ángulo seleccionado afecte notablemente el rendimiento de las celdas.

El mayor desfase se observa en Canadá (lat. promedio 60° N), se tiene una diferencia de 35° entre el ángulo propuesto y el promedio del país.

Es un desfase considerable, pero desde el punto de vista del diseño se puede aceptar ya que el ángulo se adapta a los otros sitios de una buena manera, siendo Canadá la excepción. Por otro lado, a pesar de que el sistema es pequeño, solo 6 celdas solares (figura 1), solo busca generar energía más que para el autoconsumo del sensor; y si bien es cierto no cumple la regla deseada, no generará problemas notables en la generación de energía para el sensor por los puntos expuestos anteriormente.



Figura 1. Sensor remoto elaborado en la Universidad de Alberta

Cálculo de la cantidad de radiación que se absorbe por la cubierta de plástico

Como se mencionó anteriormente, una parte primordial al trabajar con celdas solares es la cantidad de energía que estas logren producir. En este caso, es aún más importante pues el funcionamiento del sensor y todo su sistema dependen completamente de ello. Para calcular este desempeño, se utiliza un algoritmo basado en la tesis del 2012 de Pimentel, el cual utiliza el modelo de Pérez (1990) de la forma en la que se encuentra expuesto en el libro de Duffie y Beckmann (2006). Este realiza un cálculo completo, el cual finaliza con la energía eléctrica producida por las celdas solares.

El factor crítico y determinante al trabajar con celdas solares es la cantidad de irradiación que les llega, de esta va a depender la cantidad de energía que se produzca; por tanto, se debe ser especialmente cuidadoso y meticuloso en sus los cálculos. Pimentel calcula la radiación del cielo difuso, la radiación circunsolar difusa, la radiación del horizonte difusa, la radiación reflejada por el suelo y la radiación directa sobre la superficie inclinada; luego, todas estas dan como resultado la radiación total sobre la superficie inclinada. Pero estos sensores tienen una cubierta de plástico que protege todo el sistema (Figura 1), así

que en el cálculo realizado se omite la cantidad de radiación que se absorbe por el plástico.

El plástico absorbe cierta cantidad de radiación y para ser meticulosos con el cálculo y obtener un dato más certero de la cantidad de energía disponible es recomendable no despreciar este parte. La cubierta es de la marca *Pelican* modelo 1010 Micro Case y está hecha un plástico *Polipropileno Copolímero*, con un espesor de 2.5mm. A continuación, se mostrarán los cálculos necesarios para completar de calcular la irradiación sobre la celda, estos tienen como fuente a Duffie y Beckmann (2013).

Primero, hay que hacer referencia a la Ley de Beer-Lambert, también conocida como Bouguer-Lambert, la cual establece que la disminución en la intensidad de radiación (I) es proporcional al medio y la distancia L que se atraviesa; es decir, al espesor de este, de manera tal que se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{I_{\text{transmitida}}}{I_{\text{incidente}}} = e^{-\left(\frac{KL}{\cos(\theta_2)}\right)} \quad (1)$$

Donde $I_{\text{transmitida}}$ corresponde a la radiación que logra llegar a la celda, es decir, la que no fue absorbida por el medio, $I_{\text{incidente}}$ es la radiación total que se obtiene del cálculo de Pimentel, pues esta corresponde a todas la radiación disponible en el ambiente que logra llegar hasta el plástico cobertor; la K corresponde a la constante de proporcionalidad o coeficiente de extinción del polipropileno copolímero. Por otro lado, el θ_2 corresponde al ángulo de refracción de la radiación (figura 2), el cual se obtiene de la Ecuación 2. Por último L corresponde al espesor del plástico, el cual es de 2.5mm.

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2)$$

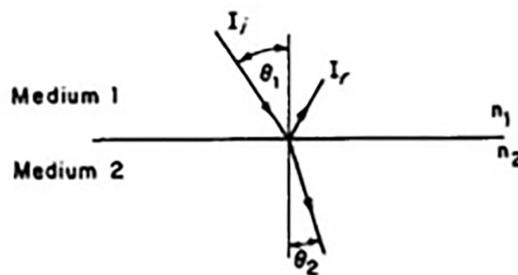


Figura 2. Ángulos de incidencia y de refracción en un medio con índices de refracción n_1 y n_2 . (DuffieBeckmann, 2013)

En el trabajo de Pimentel θ_1 ya había sido calculado previamente por lo que al algoritmo le basta con tener el n_1 y n_2 para obtener el valor de θ_2 necesario para obtener la $I_{transmitida}$, n_1 corresponde al índice de refracción del aire, el cual es tiene un valor de 1.00 (Keirl y Christie, 2007). Por su parte n_2 corresponde al índice de refracción del Polipropileno Copolímero, el valor de este es 1.49 (Fratini, 2006). Así que la ecuación del ángulo de refracción quedaría de la siguiente forma:

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(\theta_1)}{1.49} \right) \quad (3)$$

El coeficiente de extinción (α) está relacionado con el coeficiente de absorción de la forma tal como la muestra la ecuación 4.

$$\alpha = \frac{4\pi K}{\lambda} \quad (4)$$

Donde α es el coeficiente de absorción y λ la longitud de onda. Esta última variable ya está contemplada dentro de los cálculos previos que Pimentel expone, así que ya es un dato conocido para el algoritmo. Por su parte, el valor del coeficiente de absorción para el polipropileno es de (Philipp, Cole, Lui y Sitnik, 1985). El dato se tomó de una curva de "coeficiente de absorción vs longitud de onda" para el polipropileno, es importante resaltar que el valor indicado corresponde a una longitud de onda de 230 nm, se decidió elegir este pues la curva solamente cuenta con valores en el infrarrojo medio (240 nm - 170nm) y en el punto elegido la curva tiende a mantenerse constante, por lo que da mayor seguridad al cálculo.

De esta forma está dado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{(\lambda \cdot 2,3m^{-1})}{4\pi} \quad (5)$$

Los valores referentes a la $I_{incidente}$ y el θ_2 estarán variando constantemente, a causa principalmente del sitio en el que se coloque el sensor, la hora y día del año, por lo que el algoritmo se encarga de calcularlos con sus valores específicos y se mantienen como variables en la ecuación. De esta manera, se obtiene la ecuación de la $I_{transmitida}$ (ecuación 6), la cual a su vez corresponde a la nueva I_{Total} tomando en cuenta la absorción de radiación por parte del plástico.

$$I_{transmitida} = I_{incidente} \cdot e^{-\frac{K \cdot 0,0025 \cdot m}{\cos(\theta_2)}} \quad (6)$$

Modificación de la eficiencia y cantidad de energía producida

Se debe mencionar que con el fin de alterar lo menos posible el algoritmo de Pimentel, se decide seguir usando el método que este plantea para obtener la eficiencia de las celdas.

Ahora bien, la forma de calcular la eficiencia no se ve alterada, solo se debe cambiar el dato que se introduce como Intensidad Luminosa Total (I_T) en la ecuación para calcular la temperatura de la celda por la nueva intensidad luminosa que contempla la radiación absorbida por la cubierta (ecuación 7).

$$T_{cell} = I_T \times (e^{-3,56-0,75 \times W_s} + 0,003) + T_{air} \quad (7)$$

Donde T_{cell} es la temperatura de la celda solar (Celsius), W_s es la velocidad del viento (m/s), T_{air} es la temperatura del aire (Celsius), estas últimas dos variables se obtienen de bases de datos relacionados a los sitios.

Es importante mencionar que no se toma como eficiencia el dato que brinda el fabricante, pues se deben tener en cuenta otros factores que la afectan, como la temperatura, ya que al estar todo el sensor dentro de una caja de plástico el calor se puede acumular y disminuir la eficiencia. De esta forma se calcula una eficiencia teniendo en cuenta la temperatura de la celda (T_{cell}). La ecuación 8 muestra una fórmula trabajada por Pimentel, en la cual toma en cuenta una temperatura base de 25°C y un cambio en la eficiencia de -0.4% por cada grado que sube.

$$\eta_T = 0,115 - 0,0006 \times T_{cell} \quad (8)$$

La eficiencia total de las celdas se representa en la ecuación 9 por η_g , en esta, es la eficiencia tomando en cuenta el nivel de irradiación y su valor se obtiene de una tabla de interpolación que Pimentel muestra.

$$\eta_g = \eta_T \times \eta_i \quad (9)$$

Por último la energía eléctrica producida por las celdas (P_s) se puede obtener mediante la ecuación 10, en la cual la variable A_{area} representa el área de las celdas.

$$P_s = \eta_g \times I_T \times A_{area} \quad (10)$$

Vale la pena hacer notar que en lo referente a las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 se trata de la misma manera en la que Pimentel lo hace, pero se exponen aquí para facilitar la comprensión de lo que se hizo al recalcular la intensidad total tomando en cuenta la radiación absorbida por la cubierta y su utilidad en el cálculo general.

Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda colocar las celdas con un ángulo de inclinación de 25° pues este se adapta adecuadamente a los sitios en los cuales la Universidad de Alberta tiene instalados estos sensores.

Se debe tomar en cuenta la absorción de radiación de la cubierta de polipropileno copolímero e introducir los cálculos arriba expuestos en el algoritmo de Pimentel, ya que esta modificará la eficiencia y, por ende, el cálculo de la cantidad de energía eléctrica que las celdas logran producir.

Se recomienda hacer un estudio de cuanta energía requiere el sistema para funcionar y así determinar la cantidad de celdas solares necesaria, de manera tal que produzca la cantidad de energía justa y se economicen gastos en la construcción del dispositivo.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al "Programa de Pasantía Estudiantil con Fondos del Sistema 2014, CONARE-TEC" con el cual se ha cubierto parte fundamental de los gastos de viaje del pasante y a la Rectoría del Instituto Tecnológico que gestiona todo el programa.

Bibliografía

- Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 33, 1427-1433.
- Beringer, S., Schilke, H., Lohse, I., y Seckmeyer, G. (2011). Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant. *Solar Energy*, 85, 470-476.
- Campbell, J., y Wynne, R. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Estados Unidos: The Guilford Press.
- Chen, Y., Lee, C., y Wu, H. (2005). Calculation of the Optimum Installation Angle for Fixed Solar-Cell Panels Based on the Genetic Algorithm and the Simulated-Annealing Method. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20 (2), 467-473
- Chiras, D. (2009). *A Practical Guide to solar electricity: power from the sun, achieving energy independence*. Canadá: New Society Publishers.
- Duffie, J., y Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Nueva Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Duffie, J., y Beckman, W. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Nueva Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Frattini, C. (2006). *Study of the Morphology and Optical Properties of Propylene/Ethylene Copolymer Films*. Tesis de Doctorado en Química, Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos.
- Joseph, G. (2005). *Fundamentals of Remote Sensing*. India: Universities Press.
- Keirl, A., Christie, C. (2007). *Clinical Optics and Refraction: A Guide for Optometrists, Contact Lens Opticians and Dispensing Opticians*. China: Elsevier.
- Mehleri, E.D., Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A. y Markatos, N.C. (2010). Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays. *Renewable Energy*, 35, 2468-2475.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., y Stewart, R. (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*, 44, 271-289.
- Pimentel, D. (2012). *Sustainable energy comes in colors: Yellow - solar, Cyan - wind, Blue - hydro, Red - thermal*. Tesis de Doctorado. University of Alberta. Alberta, Canadá.
- Philipp, H., Cole, H., Lui, Y., y Sitnik, T. (1985). Optical absorption of some polymers in the region 240-170 nm. *American Institute of Physics*. 48(2). 192-194