

# Captación de radiación solar en celdas fotovoltaicas imitando a las distribuciones de las hojas en las plantas

Litzy Quintanilla Vázquez<sup>1</sup>, José Antonio Peralta<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departamento de Física, ESFM-IPN, México D.F., México

Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55017 Fax (55)5729-55015 E-mail: litzyvioleta@hotmail.com y peraltaesfm@gmail.com

**Resumen** — En el presente trabajo se comparan diferentes distribuciones de celdas solares para analizar cuál es el sistema más eficiente para capturar energía solar, entre estas tomamos el arreglo convencional de celdas distribuidas en un plano horizontal, por otra parte, se proponen otras dos distribuciones en forma vertical que imitan la forma en que se acomodan las hojas de las plantas en los tallos. El arreglo vertical se denomina a menudo como un árbol fotovoltaico. Se grafica el voltaje, la potencia y la intensidad capturada que corresponden a estos diferentes arreglos al exponerlos directamente a la radiación solar durante una hora aproximadamente en horarios de alta insolación.

**Palabras Clave**—Celdas solares, efecto fotovoltaico, intensidad

**Abstract**— In the present work, different distributions of solar cells are compared to analyze which is the most efficient system to capture solar energy, among these we take the conventional arrangement of cells distributed in a horizontal plane, on the other hand, two other distributions are proposed in a vertical way that they mimic the way plant leaves are arranged on stems. The vertical array is often referred to as a photovoltaic tree. The voltage, power and intensity captured corresponding to these different arrays are plotted when exposed directly to solar radiation for approximately one hour during times of high insolation.

**Keywords**—Solar cells, photovoltaic effect, radiation intensity

## I. INTRODUCCIÓN

La sociedad hasta hace unos cuantos años dependía casi exclusivamente de la energía que se obtiene de la quema de combustibles fósiles, pero esta combustión ha mostrado que ha contaminado el aire de gases invernadero tales como el bióxido de carbono, el metano y otros, esto es, de gases que retienen el calor en la atmósfera del planeta provocando paulatinamente, entre otras perturbaciones, el aumento de temperatura del medio ambiente, ya sea del aire, de los ríos o del mar, y asimismo la disminución de las grandes masas de hielo de los polos y glaciares.

Dadas las catástrofes que no solamente se prevén, sino que de hecho ya se están resintiendo, para nuestro modo de vida debido a los trastornos climáticos, en muchas partes del planeta diversos investigadores buscan opciones más amigables con nuestro entorno, es decir, el uso de las llamadas energías limpias, entre ellas el uso de la energía viento, el uso de la energía de las corrientes de aire, el uso de

las olas del mar, el uso de la energía química, el desarrollo de motores como el Stirling, y el uso de la energía solar.

Las plantas distribuyen sus hojas con distribuciones a lo largo de sus tallos de manera que capturen la mayor cantidad de energía solar para sus procesos de fotosíntesis, pese a que estas distribuciones pueden ser muy variadas, y estos se comprueba con la simple observación, todas ellas tienen lo que Darwin calificó de “identidad de diseño” [1], por tanto la naturaleza misma nos sugiere imitar, en el caso de los vegetales, la distribución de sus hojas ya que la evolución ha logrado configurar uno de los sistemas más eficientes en el mundo, pues busca optimizar y recaudar la mayor cantidad de energía para sobrevivir y desarrollar la fotosíntesis apoyándose de la captura de luz solar a través de sus hojas y transformarla en energía química.

La evolución de la tecnología nos ha proporcionado dispositivos que son muy análogos a la función de las hojas pues convierten de forma directa la energía solar en energía eléctrica, nos referimos a las celdas solares.

Las celdas solares se basan en el efecto fotovoltaico, que fue descubierto por Alexander Bequerel en 1839, el cual consiste en incidir luz sobre una superficie de material semiconductor liberando electrones para generar corriente eléctrica y que estos sean direccionados por una diferencia de potencial conectada a los extremos del material. Esta diferencia de potencial se genera por la unión pn pues se unen dos semiconductores con características diferentes; uno de ellos debe tener exceso de electrones llamado tipo n, mientras que el otro debe tener exceso de huecos o deficiencia de electrones llamados tipo p. La frontera entre estos dos semiconductores es la unión pn donde se crea un campo eléctrico lo que permite el movimiento de los electrones para ser capturados y generar dicha corriente eléctrica [2].

Los dispositivos construidos a base de celdas solares se pueden presentar en el mercado en diferentes tamaños, y para usar su energía eléctrica obtenida por la insolación usualmente se les arregla en forma horizontal ocupando grandes extensiones de superficie. En ocasiones se aprovecha su misma energía eléctrica para activar mecanismos que orienten el plano de los paneles siempre en dirección apuntando al Sol.

En este trabajo, a semejanza de otros trabajos [3,4,5,6] la disposición de celdas solares se dispone en diferentes planos horizontales a lo largo de un eje vertical, esto es, imitando la distribución de las hojas en un tallo vertical tal como ocurre con muchas especies vegetales. Con estos arreglos estamos de lleno en el campo de la biónica, es decir, en la elaboración de sistemas que imiten los procedimientos de los seres vivos para realizar sus funciones propias.

## II. TEORÍA

Debido a la construcción de las celdas solares estas empiezan a funcionar al superar cierta energía para que los electrones sean capaces de brincar la banda gap que tienen los semiconductores. Existe por tanto pérdida de energía pues no toda la energía solar se convierte en energía eléctrica. Pese a ello el rendimiento de las celdas solares se mejora día a día y en la actualidad este rendimiento es de un 15 %, por tanto, si consideramos que la intensidad de la radiación solar en las zonas cercanas al ecuador es del orden de los  $800 \text{ W/m}^2$ , por cada metro cuadrado de paneles solares [6] obtendríamos  $120 \text{ w/m}^2$  en las horas de máxima insolación.

### Árboles fotovoltaicos:

Se han propuesto diferentes arreglos con las celdas solares distribuidas en las 3 dimensiones del espacio (ver Fig. 1). En alguna de ellas va girando a cada celda conforme baja en una serie de giros que siguen la serie de Fibonacci [3,4,5], en otro dispositivo las celdas se han distribuido en una espiral descendente de acuerdo con la regla áurea [6], en este trabajo se presenta distribuciones más sencillas tal como se vera más adelante.

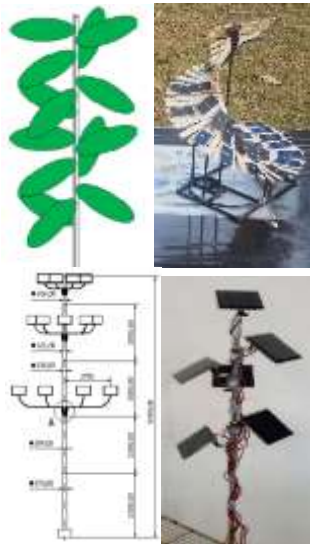


Fig. 1. Diferentes arreglos verticales de celdas solares

## III. EXPERIMENTAL

### CONSTRUCCIÓN DE DIFERENTES CONFIGURACIONES

Para efectos de comparación se han construido diferentes arreglos en la distribución de celdas solares. Una de ellas (AH) es distribuyendo 12 celdas en un plano horizontal que

es una distribución muy generalizada. Todas las celdas están conectadas en serie para sumar sus voltajes. Los extremos de este tipo de conexión han sido conectados a una resistencia de  $4300 \text{ ohms}$ . Otro tipo de arreglo B ha sido distribuyendo las celdas en diferentes planos alternados alrededor de un eje vertical; en cada plano se ha colocado 2 celdas, en el siguiente otras 2 pero rotadas  $90$  grados, y así sucesivamente hasta conformar 6 planos. Los planos han sido separados  $8 \text{ cm}$ . En un tercer arreglo las celdas solares han sido orientadas en la dirección del movimiento del Sol con una separación de  $4 \text{ cm}$ . En estos 2 últimos arreglos también las celdas han sido conectadas en serie y el voltaje total también ha sido conectado a una resistencia de  $4.33 \text{ k}\Omega$ .

Cada celda tiene las siguientes dimensiones  $5.66 \text{ cm}$  de ancho,  $6 \text{ cm}$  de largo y  $3 \text{ mm}$  de grosor. Las indicaciones del fabricante son un voltaje máximo de  $3 \text{ V}$  y una corriente máxima de  $150 \text{ mA}$ .

Las celdas en arreglo vertical han sido colocadas a lo largo de una barra de hierro y tienen pegado un imán de neodimio en uno de sus extremos que permite una gran versatilidad en sus distribuciones ya que cada celda puede subir o bajar, o rotar alrededor del eje que funciona como tallo. Los arreglos se muestran en las figuras 2,3 y 4.



Fig. 2. Arreglo Horizontal de celdas solares (AH)



Fig. 3. Arreglo vertical de celdas solares en la configuración A rotada (AVA)



Fig. 4. Arreglo vertical B de celdas solares con una sola orientación (AVB)

#### EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR

Cada configuración del arreglo en vertical fue comparada con el arreglo en horizontal como se ve en las siguientes figuras.



Fig. 5. Comparación de eficiencia en las configuraciones A y B



Fig. 6. Comparación de eficiencias en las configuraciones A y C

Para cada configuración se midió simultáneamente el voltaje en la resistencia conectada en serie cada minuto durante una hora aproximadamente. Es importante mencionar que para los cálculos posteriores las áreas efectivas, que se conocen como áreas instaladas, de cada arreglo son las siguientes:

$$AAH = 0.0407 \text{ m}^2$$

$$AB = 0.0114 \text{ m}^2$$

$$AC = 0.00339 \text{ m}^2$$

#### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El parámetro más importante que medir para fines de comparación es la intensidad de la energía capturada.

La potencia  $P$  en la resistencia conectada en serie a las celdas solares es:  $P=VI$ , la intensidad  $I_R$  es  $P/A$ , con  $A$  el área instalada.

Lo que se observa en las figuras 7, 8 y es que en todos los casos durante la mayor parte del tiempo la intensidad es mayor en los arreglos verticales de los planos que imitan la distribución de las hojas en los vegetales.

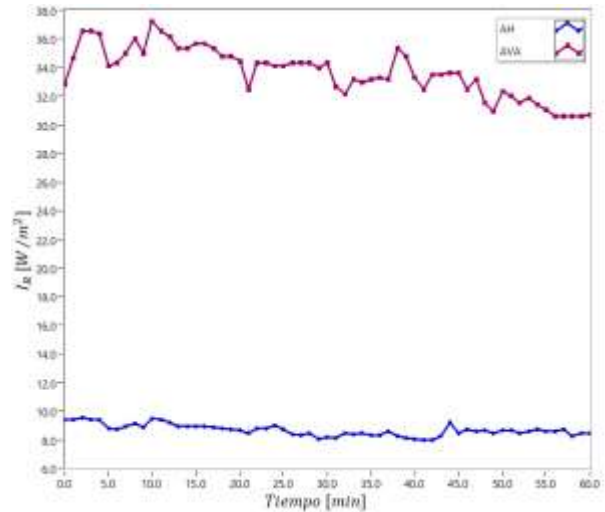


Fig. 7. Comparación de intensidades para las celdas en la distribución alternada (color morado; AVA) y la distribución horizontal de celdas (azul; AH)

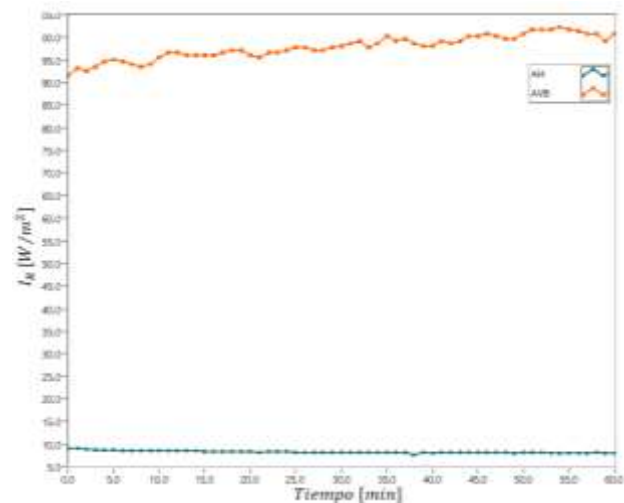


Fig. 8. Comparación de intensidades para las celdas alineadas en una misma dirección (color anaranjado; AVB) y la distribución horizontal de celdas (color verde; AH)

Podemos observar que el arreglo en vertical, cuando las celdas están alternadas, es mucho mejor en capturar la intensidad de radiación pues es aproximadamente 4 veces más eficiente que el arreglo horizontal. Pero la eficiencia mejora cuando las celdas se alinean en una sola dirección pues la intensidad de radiación es aproximadamente 9 veces más eficiente que el arreglo en horizontal.

#### IV. CONCLUSIONES

Utilizar diferentes distribuciones nos ayudó a visualizar la eficacia de imitar a la naturaleza, ya que, si bien el voltaje y la potencia varían de forma individual en cada celda debido al impacto de las sombras, en el cociente de la potencia global capturada por el arreglo del árbol fotovoltaico, dividida entre el área instalada  $P/A$ , la disminución de área eleva notablemente la eficiencia en la captura de intensidad. Todos estos resultados muestran que, en efecto, la evolución de las especies vegetales ha ido en dirección a una mejora en su diseño, todo ello justifica que se avance en la investigación de la forma como las especies vivas han resuelto sus problemas de vida ya que de estas soluciones podemos aprender mucho, en particular el uso de las distribuciones en diversos planos sobre la dirección vertical de las celdas solares, puede coadyuvar a atacar uno de los problemas que mas ponen en riesgo a las comunidades humanas ya que, como se ha mostrado, es una captura muy eficiente de la energía limpia.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la COFAA el apoyo dado para el desarrollo de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] Peralta, J. A., & Salazar Cano, J. A. (2019, agosto). La racionalidad física en la vida de las plantas. Memorias de la reunión nacional académica de física y matemáticas.
- [2] Munguía, H. Fundamentos físicos de las celdas solares. Departamento de Física, Universidad de Sonora. Recuperado 15 de marzo de 2022, de <https://bit.ly/3KULBkg>.
- [3] Yuji, A., & Yachi, T. (2010, June). A novel photovoltaic module assembled three-dimensional. In 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (pp. 002811-002816). IEEE. Recuperado 15 de marzo de 2022 de <https://bit.ly/3sSOKJX>.
- [4] Benguar, A. N. D., Casiano, P. G. T., Valdehueza, T. L., & Tan, D. A. (2018). Golden ratio applied in the orientation of solar cells in a golden spiral solar panel. *International Journal of Development Research*, 8(05), 20416-20420. Recuperado 15 de marzo de 2022 de <https://bit.ly/3aiA9kN>.
- [5] Nishiwaki, T., & Yachi, T. (2014, October). Arrangement of Fibonacci number photovoltaic modules for power generation woods. In 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA) (pp. 142-146). IEEE. Recuperado 15 de marzo de 2022 de <https://bit.ly/3MNGymw>.
- [6] Kar, S., Deo, M. B., Panda, B., Nanda, B. P., & Moharana, N. (2020, July). Design of solar tree with photovoltaic panel using phyllotaxis phenomenon. In 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE) (pp. 1-4). IEEE. Recuperado 15 de marzo de 2022 de <https://bit.ly/3lzdZwW>.