

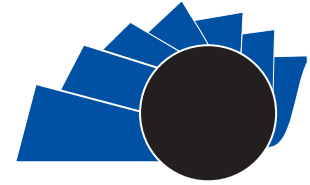


UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



VISIÓN ELECTRONICA

Visión de caso

Panel fotovoltaico de 10 W diseñado usando Comsol multiphysics

Photovoltaic panel of 10 W designed using Comsol multiphysics

Michael Jair Velásquez Garzón¹, David Alejandro Aguilar Arévalo², Harold David Puin Ávila³

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historia del artículo

Enviado: 04/12/2017

Recibido: 02/03/2018

Aceptado: 19/05/2018

Palabras clave:

Panel Fotovoltaico

Energías Alternativas

Modelamiento

COMSOL Multiphysics

Keywords:

Photovoltaic Panel

Alternative Energy

Modeling

COMSOL Multiphysics

RESUMEN

En la actualidad, la energía solar constituye la segunda fuente de energía renovable de mayor aprovechamiento en el mundo, por lo que se ha progresado en la eficiencia y reducción de área de impacto de paneles solares. No obstante, aun, en comparación con otras fuentes de energía eléctrica, su costo de adquisición sigue elevado en implementaciones de alta potencia. En el presente artículo, mediante el software COMSOL Multiphysics -utilizando elementos finitos-, se simula y analiza una de las celdas de un panel solar fotovoltaico de 10(W). Se realizan pruebas en periodos distintos de tiempo y con intensidad de radiación solar diferentes, identificándose curvas características adquiridas de corriente vs tensión, y potencia vs tensión. Se evalúan, por comparación, los datos arrojados con respecto a los dados por el fabricante encontrándose plausibles dado un error relativo admisible de 1,428% y 1,639%, respectivamente. Como el comportamiento del panel solar depende en gran parte de la radiación solar proyectada en él, y de la temperatura ambiente, se evidencia que a mayor radiación solar sobre el panel la corriente demandada capaz de otorgar aumenta.

ABSTRACT:

At present, solar energy is the second largest source of renewable energy in the world, and there is evidence of progress in the construction of solar panels to increase their efficiency and reduction of impact area; but, in comparison with other sources of electric power, its acquisition cost has very high costs in high-power implementations. In this article, using COMSOL Multiphysics software – by finite elements-, it's simulating and analyzing one cells in 10(W) photovoltaic solar panel. Tests are carried out at different days with different solar radiation intensity are made, identifying two characteristic curves acquired from current vs voltage, and power vs voltage. It's evaluated, by comparison, the data achieved respect to the manufacturer and a relative error of 1,428% and 1,639% respectively is identified, which is an approved error for specifications by the manufacturer. The behavior of the solar panel depends largely on the solar radiation projected on it as well as the ambient temperature, evidencing that the more solar radiation on the panel the demanded current capable of granting increased.

¹Ingeniero Eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Lugar de trabajo: Fusión Latam Colombia SAS. Correo electrónico: mvelasquez@fusionlatam.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1908-0517>.

²Ingeniero Eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Lugar de trabajo: Axon Group Ltda. Correo electrónico: david.aguilar@axongroup.com.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9290-2524>.

³Ingeniero Eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Lugar de trabajo: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: hdpuina@correo.udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-7610>.

Citar este artículo como: M. J. Velásquez-Garzón, D. A. Aguilar-Arévalo y H. D. Puin-Ávila, "Panel fotovoltaico de 10 W diseñado usando COMSOL Multiphysics", Visión electrónica, algo más que un estado sólido, vol. 1, no. 1, Edición especial, enero-junio 2018. DOI revista: <https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>.

1. Introducción

Actualmente, la energía solar representa la segunda fuente avanzada de energía renovable de mayor aprovechamiento en el mundo, después de la eólica [1]; equivale entre un 0.85% y un 1% de la demanda mundial de electricidad [2], donde este porcentaje tiende a aumentar drásticamente en los próximos 10 años. Para el caso de Colombia, las fuentes de información indican que el país tiene una irradiación promedio de 4.5 KWh/m²/día [3], la cual supera a las de países como Alemania, confirmando la posibilidad de un alto aprovechamiento de este recurso si se realizara de manera adecuada. La tabla 1 muestra la radiación solar en el sector Colombiano, información publicada por el IDEAM⁴. Bajo estas condiciones ya han sido varios los proyectos experimentales o vanguardistas que buscan dar mayor popularidad a este tipo de generación eléctrica en el país, con pequeñas aplicaciones como la carga de dispositivos solares en sitios públicos de ciudades como Medellín, algunas de estas iniciativas han logrado almacenar cargas de 876Wh en un año [4]. De igual manera partiendo desde la normatividad y marcos legales vigentes para el sector de las energías renovables en Colombia, refiriéndonos a ley 142/143 de 1994 y la ley 1715 de 2014 [5] se ha estimulado la implementación de proyectos de generación fotoeléctrica a mayor escala y que se puedan conectar al sistema interconectado nacional obteniendo grandes beneficios ambientales y económicos [6][7].

No obstante, las mayores desventajas al usar la energía solar como fuente de generación eléctrica es que esta tiene eficiencias muy pequeñas en comparación con otras fuentes convencionales, y la tecnología usada es costosa, más aún cuando se requieren instalaciones de altas potencias. Por lo anterior se considera importante realizar investigaciones, a manera de simulaciones, que permitan establecer parámetros óptimos de diseños para paneles fotovoltaicos, que den con una mayor eficiencia, y que sean adecuados para operar en ambientes adversos con vientos fuertes, temperaturas altas o bajas, entre otras situaciones ambientales propias de esta área del mundo.

| Región | KWh/m ² /año |
|-----------------|-------------------------|
| Guajira | 2.190 |
| Costa Atlántica | 1.825 |
| Orinoquia | 1.643 |
| Amazonia | 1.551 |
| Andina | 1.643 |
| Costa Pacífica | 1.278 |

Tabla 1. Radiación Solar en Colombia. Fuente: IDEAM, [8].

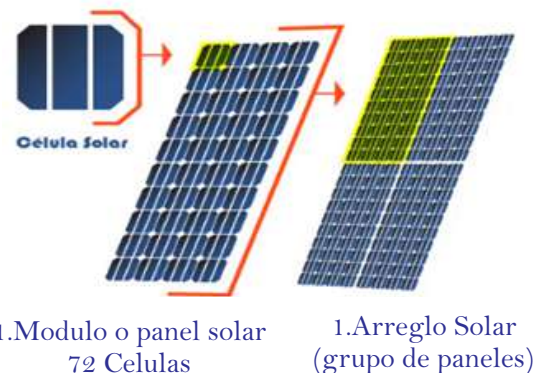
El presente artículo se orienta en tal dirección, y se estructura así: inicialmente se establece la metodología de trabajo centrada en el objeto de investigación, las características de los paneles; posteriormente se describen las pruebas y los resultados de las mismas; luego se realizan las simulaciones en COMSOL; y finalmente se establecen las conclusiones.

2. Metodología

2.1. Panel Solar Fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos compuestos por materiales semiconductores que captan la radiación solar, generando una excitación de cargas que producen energía eléctrica [9]. Por lo tanto, un panel solar consta de células conectadas en una configuración serie paralelo, que se agrupan en módulos, y los módulos se agrupan en arreglos (Ver Figura 1). Existen dos tipos de paneles solares [10], que se clasifican según la construcción de la celda solar, y son:

- Silicio cristalino (Monocristalino y Policristalino).
- Silicio amorfo.



1. Módulo o panel solar
72 Células

1. Arreglo Solar
(grupo de paneles)

Figura 1. Módulos del Palen Fotovoltaico [11].

Sus principales características se pueden evidenciar en la Tabla 2.

| | |
|-----------------------|--|
| Monocristalino | <i>Eficiencia: 15–18%</i> |
| | Usualmente son de color azul homogéneo y la conexión de las celdas se hace individualmente |
| Policristalino | <i>Eficiencia: 12–14%</i> |
| | La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules o negros. |
| Amorfo | <i>Eficiencia: < 10%</i> |
| | Tiene un color homogéneo y no existe una conexión visible entre las celdas. |

Tabla 2. Diferencias entre Paneles según su Construcción [12].

⁴El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia.

2.2. Parámetros del Panel Solar Fotovoltaico de Estudio

Las especificaciones del panel solar fotovoltaico adquirido se pueden visualizar en la Tabla 3.

| Variable | Valor |
|--------------------------|-----------------|
| Potencia | 10 (W) |
| Tensión con Carga | 17,56 (V) |
| Corriente con Carga | 0,56 (A) |
| Tensión en Vacío | 21,96 (V) |
| Corriente Corto Circuito | 0,67 (A) |
| Dimensiones | 355x250x18 (mm) |

Tabla 3. Características Panel Solar Fotovoltaico [13].

Una de las características principales del panel fotovoltaico es el rendimiento típico eléctrico, el cual presenta las siguientes características en la Tabla 4:

| Variable | Valor |
|--|-----------|
| Temperatura Corriente de Cortocircuito Coeficiente (mAC) | + 2.5 |
| Voltaje de Circuito Abierto Coeficiente de Temperatura (V/C) | - 0.147 |
| Temperatura Máxima de Potencia Coeficiente %/C | - 0.4 |
| Comportamiento Salida (90 %) | 12 (años) |
| Comportamiento Salida (80 %) | 25 (años) |
| Grado Panel | A |

Tabla 4. Rendimiento Típico Eléctrico [13].

Por lo cual la gráfica del comportamiento del panel fotovoltaico de Corriente Vs Tensión, y la curva de comportamiento Potencia Vs Tensión, se identifican en la Figura.2.

3. Pruebas y resultados

3.1. Panel Solar Fotovoltaico Adquirido.

Las pruebas realizadas al panel adquirido se hicieron en diferentes días con radiación solar diferente. Dado que no se pudo conseguir un equipo de medida para medir la radiación solar, únicamente se muestran dos curvas características obtenidas de corriente vs tensión y

potencia vs tensión, que se clasifican como resultados obtenidos en día nublado (Ver Figura 3) y día con poca radiación solar (Ver Figura 4).

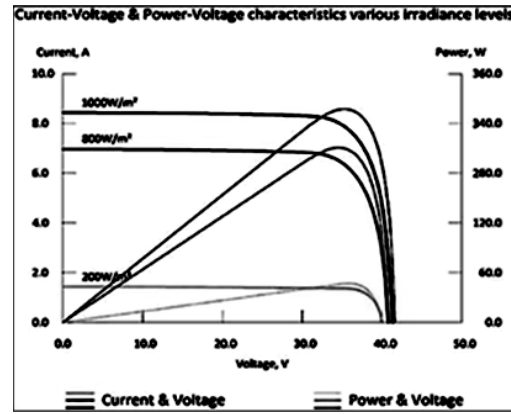


Figura 2. Módulos del Palen Fotovoltaico [14].

Observando la gráfica de la Figura. 3 se observa que la tensión de circuito abierto es $V_{oc} = 20,17$ (V). La corriente de corto circuito es $I_{sc} = 121$ (mA) y la potencia máxima es de $P_{mp} = 1568,4$ (mW).

Observando la gráfica de la Fig. 4, se observa que la tensión de circuito abierto es $V_{oc} = 20,56$ (V), la corriente de corto circuito es $I_{sc} = 180,43$ (mA) y la potencia máxima es de $P_{mo} = 1977,9$ (mW).

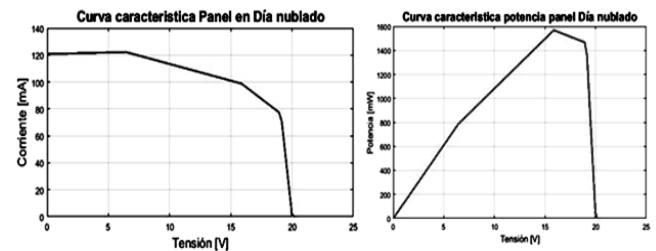


Figura 3. Característica Tensión vs Corriente y Tensión vs Potencia para día nublado. Fuente: elaboración propia.

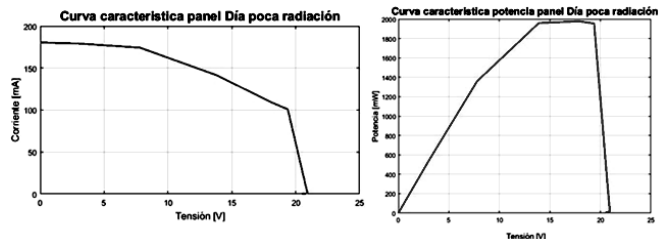


Figura 4. Característica Tensión vs Corriente y Tensión vs Potencia para día con poca radiación. Fuente: elaboración Propia.

4. Simulación COMSOL Multiphysics

Se realiza la simulación del panel solar fotovoltaico en el software COMSOL Multiphysics, paquete usado para

analizar comportamientos a través del método de elementos finitos.

El software implementa como método no lineal de solución un algoritmo automático de Newton-Raphson, con un error de 10^{-4} (m), el cual conlleva un máximo número de iteraciones de 50, que garantizan un resultado óptimo de la simulación.

De igual manera, para la realización del modelo estático simulado, se implementa el método de FERMI-DIRAC, el cual posee una solución mediante huecos y electrones. Hay que tener en cuenta que el área de irradiación solar para la célula simulada se calculó en aproximadamente $8,6 * 10^2$ (m²); como también el diagrama de energía del panel solar fotovoltaico, Figura 5.

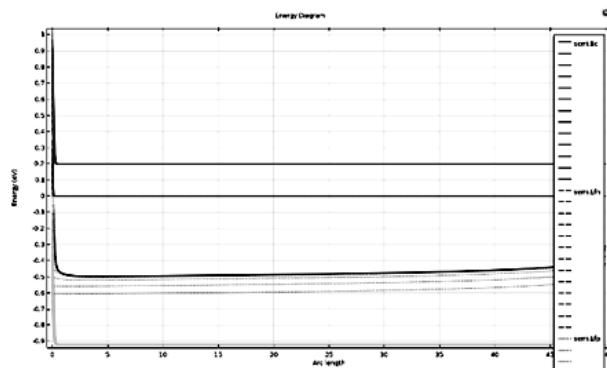


Figura 5. Grafica de tendencia de la energía. Fuente: elaboración Propia.

Uno de los aspectos importantes en la configuración de simulado de paneles solares fotovoltaicos en COMSOL Multiphysics es la concentración de donadores tipo N la cual fue de $1 * 10^{16}$ (1/cm³), se pueden clasificar como impurezas añadidas al modelo, debido a que básicamente son los electrones libres, los que no pertenecen al material. Como también la concentración de receptores se fue de $5 * 10^{28}$ (1/cm³), se observa en la Figura 6.

Un aspecto vital para la simulación es la separación entre los materiales semiconductores del panel, ya que debe tener la distancia necesaria para poder pasar electrones a la banda de valencia. Por lo anterior, la distancia de separación entre los materiales semiconductores o juntura es de 0,005 (m). Como también el modelo de generación y recombinación implementado en el software es el de Shockley-Read-Hall - para paneles solares de Silicio- el ancho de la célula, la cual es la encargada de absorber los fotones de luz y transformarlos en energía eléctrica se estableció de 50 (µm); por lo tanto, se implementó un mallado de tipo fino.

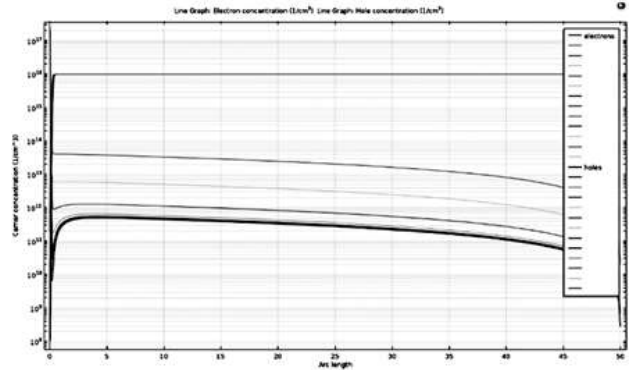


Figura 6. Grafica de concentración. Fuente: elaboración propia.

La grafica de potencial Vs potencial eléctrico, se puede observar en la Figura 7.

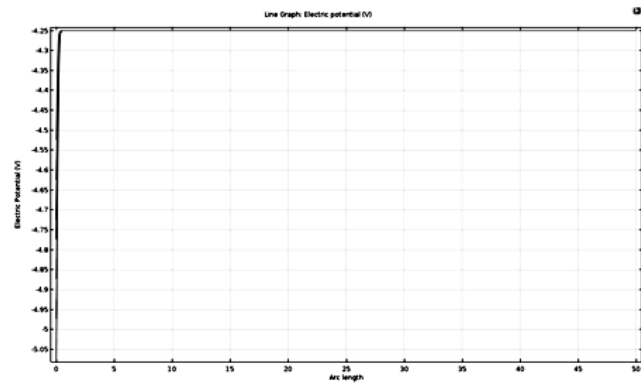


Figura 7. Grafica Potencial vs Potencial Eléctrico. Fuente: elaboración propia.

Las dos graficas más relevantes, para analizarlas posteriormente, son las de corriente y potencia del panel solar. En la Figura 8 se puede visualizar la gráfica de Tensión Vs Corriente, la cual posee una corriente máxima de 13,8 (mA); dado que el panel solar posee 40 líneas de célula de corriente conectadas en paralelo, y en cada célula pasa 13,8 (mA), la corriente total del panel, ecuaciones (1) y (2).

$$I_{mp} = I_{c\acute{e}lula} * N_{c\acute{e}lulas} \quad (1)$$

$$I_{mp} = 13,8(mA) * 40 = 552(mA) \quad (2)$$

Dadas las especificaciones del fabricante del panel solar fotovoltaico, posee una $I_{mp} = 0,56$ (A) por lo cual se procede a hallar el error relativo, ecuaciones (3) y (4).

$$E = \frac{I_{mpreal} - I_{mpsimulado}}{I_{mpreal}} * 100\% \quad (3)$$

$$E = \frac{560(mA) - 552(mA)}{560(mA)} * 100\% = 1,428\% \quad (4)$$

Se obtiene un error relativo de 1,428%, muy cercano al dado por el fabricante. Para la obtención de la tensión en vacío del panel tomamos el punto V_{oc} de la Figura 8, el cual es de 0,6 (V), y posee 36 paneles. Se procede, entonces, a hallar el valor de tensión en vacío del panel, ecuaciones (5) y (6).

$$V_{oc} = V_{célula} * N_{celdas} \quad (5)$$

$$V_{oc} = 0,6(V) * 36 = 21,6(V) \quad (6)$$

Dadas las especificaciones del fabricante del panel solar fotovoltaico, posee una $V_{oc} = 21,6(V)$, por lo cual se procede a hallar el error relativo, ecuaciones (7) y (8).

$$E = \frac{V_{ocreal} - V_{ocsimulado}}{V_{ocreal}} * 100\% \quad (7)$$

$$E = \frac{21,95(V) - 21,6(V)}{21,95(V)} * 100\% = 1,639\% \quad (8)$$

Por lo tanto, se obtiene un error relativo de 1,639%, error muy cercano al dado por el fabricante. Por último se obtiene la gráfica de potencia para una sola célula del panel solar fotovoltaico, la cual se puede visualizar en la Figura 8.

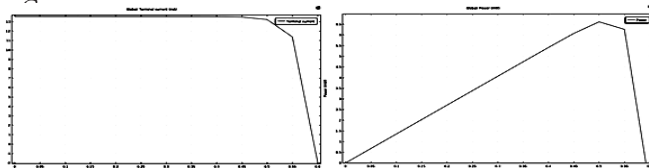


Figura 8. Gráficas de Corriente y Potencia Comsol Multiphysics. Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

La implementación, mediante el programa de modelado a una de las células que componen las celdas del panel y debido a que la característica de esta célula es estándar a las demás, se puede replicar de acuerdo a esta condición, optimizando recursos de Hardware y Software, como también de tiempo en el momento del modelado.

Se identificó, en el proceso de la investigación, que el comportamiento del panel solar depende en su mayor parte de la radiación solar, así como de la temperatura ambiente en que se realizaban los ensayos. Para efectos de este trabajo se obtuvieron dos gráficas del comportamiento del panel solar a valores muy diferentes de tensión y corriente.

Los resultados arrojaron que a mayor radiación solar sobre el panel, la corriente capaz de entregar por dicho panel aumenta. Lo anterior no fue favorable para el proceso, debido a que no se pudo abordar una comparación directa con la simulación; además, mientras se capturaban los datos, al no tener un ambiente controlado, los valores de tensión y corriente oscilaban demasiado, pero siempre directamente proporcional a la radiación.

También se observó que al someter el panel a una luz

artificial fría o de calor, la tensión y corriente generada nunca alcanzaba los valores máximos de placa. Lo anterior se realizó con el fin de experimentar el comportamiento del panel ante diferentes fuentes de luz. Sin embargo las curvas características en comparación con los valores simulados en COMSOL Multiphysics tienen un comportamiento acorde a la placa de características.

Referencias

- [1] UPME and BID, Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. 2015.
- [2] I. E. Agency, "A Snapshot of Global PV 1992-2013," Rep. IEA-PVPS T1-242014, pp. 116, 2014.
- [3] I. UPME, "Atlas de Radiación Solar de Colombia," 2005. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm.
- [4] E. Duque, A. Isaza, P. Ortiz, S. Chica, A. Lujan, and J. Molina, "Urban sets innovation: Design of a solar tree PV system for charging mobile devices in Medellin Colombia," in 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2017, pp. 495498.
- [5] Congreso de la republica de Colombia, "Ley 1715 de 2014." 2014.
- [6] J. Alberto and V. Marín, "Invierta y Gane con Energía," 2014.
- [7] J. A. Hernandez, C. A. Arredondo, and D. J. Rodriguez, "Procedures to Make Projects About Renewable Energy Generation Connected to the Grid in Colombia," in 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2017, pp. 20312034.
- [8] IDEAM, "Visor Atlas Radiacion." 2017.
- [9] A. Fahrenbruch and R. Bube, Fundamentals Of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion. Elsevier Science, 2012.
- [10] T. Markvart and K. Bogus, Solar Electricity. Wiley, 2000.
- [11] GStriatum, "La Diferencia Entre Célula, Módulo, Arreglo Y Sistema Solar." 2010.
- [12] T. D. Corcobado and G. C. Rubio, Instalaciones solares fotovoltaicas, grado medio: CD profesor. McGraw Hill, 2010.
- [13] Fabricante, "Ficha tecnica PANELES SOLARES." 2017.
- [14] CEMAER, "Paneles Solares." 2017.