

Simulación de paneles semiflexibles en alumbrado público en Panamá

Simulation of semi flexible panels in public lighting in Panama

Génesis Real¹, Joel Barría¹, Liliana Ardines¹, Jhair Malday¹, Itamar Harris^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Electromecánica – Centro Regional de Panamá Oeste – Universidad Tecnológica de Panamá,

²Facultad de Ingeniería Mecánica – Centro Regional de Panamá Oeste – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Actualmente existen varios mecanismos sofisticados para obtener energía renovable. Se diseña un sistema alternativo para aprovechar la radiación solar en Panamá a fin de abastecer el sistema de alumbrado público, el cual es de gran importancia para los ciudadanos. Se considera para dicho diseño la estructura curva del techo de las subestaciones del metro de Panamá. Mediante modelado y simulación de paneles fotovoltaicos flexibles se logra demostrar que los mismos proporcionan un gran desempeño en la generación de energía renovable y amigable con el ambiente para así generar energía y abastecer alumbrado para dichos puentes elevados. Se obtiene como resultado que este sistema de paneles podría alimentar completamente la iluminación de todos los puentes peatonales en nuestro país.

Palabras claves Demanda de energía eléctrica, Metro de Panamá, panel semiflexible, puente elevado peatonal.

Abstract Currently there are several sophisticated mechanisms to obtain renewable energy, our idea consisted in designing a system that will take advantage of the solar radiation in Panama to supply the public lighting system in pedestrian bridges, which is really important for our citizens, since it prevents them from traffic accidents. We considered the curved roof structure of the subway stations together with the photovoltaic cells that provided us with a great performance in the generation of renewable energy. As a result, we obtained all of bridges illuminated from the total of the high bridges of our country. This was accomplished by performing a simulation with Matlab's Simulink software with which we were able to obtain graphs of performance, power, radiation-dependent current and temperature.

Keywords Electricity demand, Panama Metro, semi flexible panel, pedestrian high bridge.

* Corresponding author: itamar.harris@utp.ac.pa

1. Introducción

En Panamá la mala práctica de miles de peatones de no utilizar los pasos elevados peatonales crece constantemente y una de las razones, se debe a que los mismos no constan con iluminación alguna [1].

De igual forma, en nuestro país el consumo está creciendo más que la generación de energía, revelan las cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) de la Contraloría General de la República. En enero 2016, mientras el consumo de energía eléctrica creció 5.5%, la generación neta de energía se incrementó apenas 1.3%. La generación neta de energía sumó 787.9 millones de kilovatios por hora y el consumo 740.6 millones de kilovatios por hora. La situación indica que la oferta iguala peligrosamente la demanda [2].

Esto nos lleva a idear una forma de ofrecer al peatón, seguridad al cruzar por los pasos elevados mediante el alumbrado público de los mismos, utilizando energía proveniente de paneles semiflexibles colocados en las estaciones elevadas del Metro; logrando de este modo que los mismos sean autosostenibles. Se ha optado por considerar la ubicación de este sistema en las instalaciones del Metro, tomando en consideración que en este momento tenemos en funcionamiento la Línea 1 del Metro, la Línea 2 en construcción y en el futuro una línea 3 hacia la provincia de Panamá Oeste en las cuales se podría utilizar cada una de las estaciones elevadas que en ellas se construyan.

Considerando el diseño estructural de las estaciones del Metro, resulta factible la selección del panel semiflexible, a fin de ser ubicado sobre el techo curvo de las estaciones

elevadas. El panel semiflexible es un material mecánicamente fuerte y estable que funcionaría sobre estas grandes estructuras.

2. Creación de paneles semiflexibles

La tecnología de paneles fotovoltaicos de lámina fina semiflexibles es una tecnología patentada en el año 2000, por Robert G. Wendt, en la cual señala el proceso general para la fabricación de estos tipos de paneles [3].

3. Estructura y composición

La producción de los paneles fotovoltaicos semiflexibles se fundamenta en depositar silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas radioactivo, donde su mejor ventaja recae en su reducido espesor, lo cual facilita su instalación y acoplamiento a otros materiales [4].

Esto se logra sometiendo a fuerzas de compresión para volverlos lo suficientemente delgados, mediante técnicas utilizadas en la industria de láminas delgadas para la protección, decoración y otros.

Normalmente para estos paneles se suele preferir la utilización del Silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H), y Silicio monocristalino (uc-Si:H), en los cuales el grosor de las celdas es limitado de 0.2 a 2 micrómetros de espesor, más que todo debido a la pobre carga que transportan estos materiales [5].

4. Modelado de celdas y sistemas fotovoltaicos

Una celda solar es construida mediante láminas delgadas de silicio y de semiconductores entrelazados cuyo propósito es convertir la radiación solar en energía eléctrica [6].

El sistema fotovoltaico puede ser modelado como una fuente con un diodo y una resistencia en paralelo, además de la resistencia interna del sistema, la cual sería la resistencia en serie, como se ve en la figura 1. La salida de la fuente de corriente es directamente proporcional a la luz que cae la célula (corriente I_{ph}) [7].

5. Modelo matemático de un sistema fotovoltaico

El modelo matemático que describe una celda solar, generalmente se describe por medio de la siguiente ecuación (1):

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Donde, I_L es la corriente fotogenerada, I_0 es la corriente de saturación inversa, R_s es la resistencia en serie, R_{SH} es la

resistencia en paralelo, V es el voltaje, q es la carga de un electrón y a es un parámetro de voltaje térmico [8].

La corriente fotogenerada varía en función de la radiación solar y de la temperatura de trabajo en la celda, y se describe por (2):

$$I_L = \frac{S}{S_{ref}} [I_{L,ref} + \mu_{ish}(T_c - T_{c,ref})] \quad (2)$$

Donde, S es la irradiación solar, S_{ref} es la irradiación solar en condiciones de referencia, $I_{L,ref}$ es la corriente foto generada en condiciones de referencia y se puede tomar como la corriente de cortocircuito, y μ_{ish} es el coeficiente de cortocircuito [8].

La corriente de saturación inversa está dada por la expresión siguiente (3):

$$I_0 = I_{0,ref}(T_c - T_{c,ref})^3 \exp\left[qE_G\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right] \quad (3)$$

Donde, E_G es la energía del semiconductor y $I_{0,ref}$ es la corriente de saturación inversa en condiciones de referencia[8].

El modelo utilizado la simulación (4) se obtuvo mediante las fórmulas de Walker and Geoff donde se omite la resistencia en paralelo de tal manera que:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (4)$$

Donde R_p se descarta puesto que su valor es muy elevado por lo cual puede considerarse infinita, para hacer más sencillo los cálculos, ya que no afecta en gran medida la potencia generada por el panel. [13] Así, de igual manera (5):

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{ph,ref} + \mu_{sc} \cdot \Delta T) \quad (5)$$

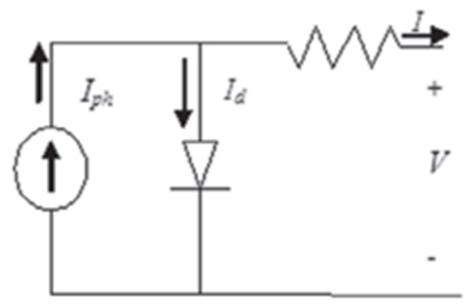


Figura 1. Modelo del panel fotovoltaico.

6. Modelo del techo de la estación del Metro de Panamá

Para modelar nuestro proyecto utilizaremos el programa Simulink de Matlab, el cual es un entorno de diagramas de bloques para la simulación multidominio. Se recolectó información sobre los datos de irradiación y temperatura de Panamá en intervalos de 10 minutos en la estación meteorológica “Vantage Pro2” ubicada en el centro de investigación CINEMI de la Universidad Tecnológica de Panamá, Sede de Tocumen para generar las gráficas obtenidas. Estas gráficas se elaboraron usando la data del día 22 de abril de 2015 y enfocados a expresar mediante los datos obtenidos la potencia, el voltaje y corriente suministrados por el panel.

7. Estudio experimental

Con referencia a la información de los datos investigados como los de irradiación y temperatura de Panamá, a través de los cuales se obtuvieron las siguientes gráficas, se explicarán cada una en su parte inferior.

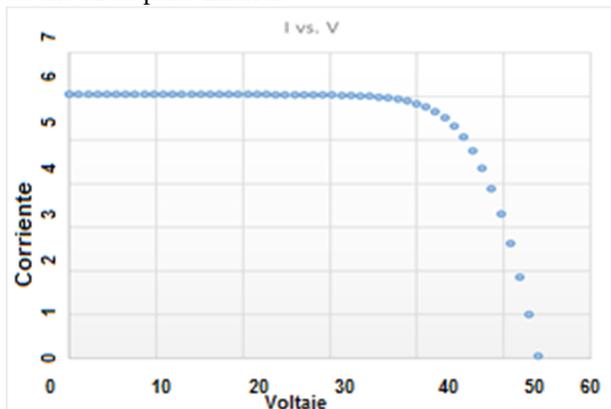


Figura 2. Gráfica de corriente con respecto al voltaje con irradiación y temperatura ideal (W=1000 W/m y T=25°C).

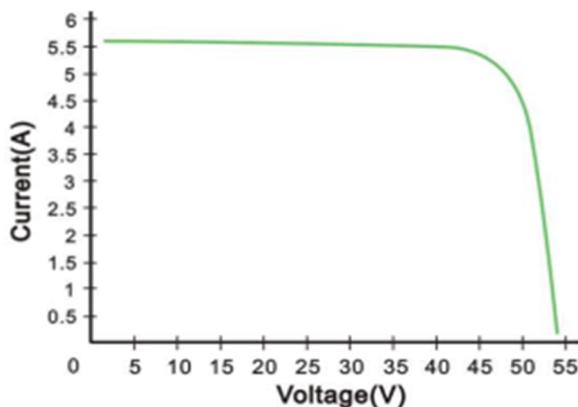


Figura 3. Gráfica de corriente con respecto al voltaje con irradiación y temperatura ideal (W=1000 W/m y T=25°C) dadas por el fabricante.

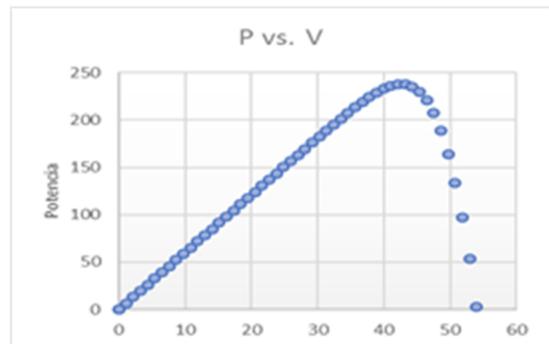


Figura 4. Gráfica de corriente con respecto al voltaje con irradiación y temperatura ideal (W=1000 W/m y T=25°C) dadas por el fabricante.

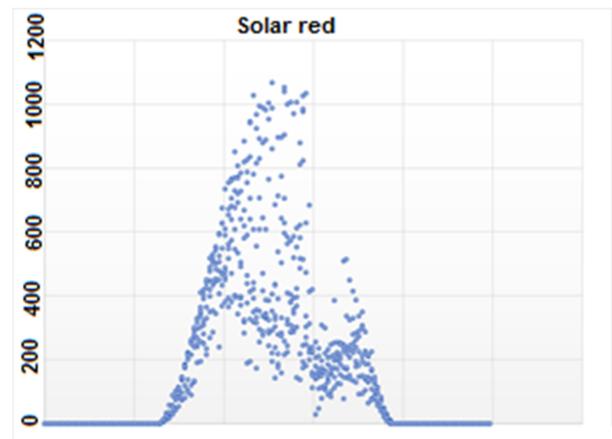


Figura 5. Gráfica de radiación solar en Panamá en una semana, obtenidos de la estación meteorológica “Vantage Pro2” en Tocumen, Panamá.

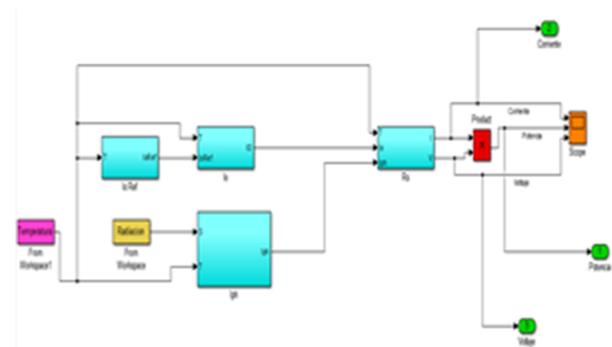


Figura 6. Modelo de operación de panel fotovoltaico en Simulink de Matlab.

8. Perspectivas de aplicación en puentes peatonales

Hemos escogido un bombillo de LED de 15 W con 105 lumens [9] utilizando la ecuación (7):

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (7)$$

Pudimos obtener un diámetro de alcance de 4m por bombillo y tomando en consideración un puente de largo

aproximado de 40m necesitaremos un total de 10 bombillos para cubrir la longitud total. Calculando la energía eléctrica consumida en total por puente seria (8): [10]

$$E = P.N.T \quad (8)$$

P: potencia consumida por bombillo

N: números de bombillos

T: tiempo que los bombillos están en funcionamiento

$$E = (15W)(10 \text{ bombillos})(11h) = 1.65 \text{ KWh} \quad (9)$$

Considerando que las luces del puente estarán permanentemente encendidas por motivos de seguridad, calculamos un total de 11 horas de funcionamiento dentro de un horario de 7p.m. a 6a.m. con un total de energía eléctrica consumida de 18,15KWH por puente. Comparando este resultado con la energía total producida por las celdas fotovoltaicas situadas en cada estructura elevada de la estación del metro la cual es 840,61KWH es posible alimentar 46 puentes por cada estación elevada del Metro.

En Panamá existen 6 estaciones con estructura elevada disponibles para la instalación de las celdas fotovoltaicas lo cual nos daría un total de energía eléctrica producida por día de 91,44KWH en las 6 estaciones del Metro [11].

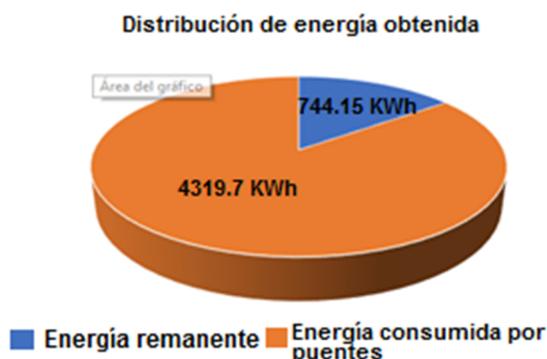


Figura 7. Gráfica de la distribución de energía obtenida por los paneles en las estaciones del Metro de Panamá y entregada al sistema eléctrico nacional.

9. Conclusiones

Los modelados matemáticos obtenidos con *software* de MatLab Simulink sobre los paneles fotovoltaicos nos da la habilidad para el estudio de las características de cualquier panel en el mercado, en nuestro caso de estudio, nos brinda un análisis eficaz sobre las señales de salida del panel (Corriente y Potencia), dependientes de variables externas (Irradiación y Temperatura), dándonos la capacidad de analizar la factibilidad de la utilización de paneles para satisfacer una necesidad de energía que aqueja la sociedad y

limitar la dependencia a fuentes fósiles para la generar energía.

El beneficio que supone la utilización de paneles fotovoltaicos sobre el techo de las estaciones del metro tiene como finalidad guardar la seguridad de los peatones que hacen uso de los puentes elevados quienes muchas veces se abstienen a hacer uso de estos por temor a que sean acechados por personas del mal vivir, iluminando el total de los puentes elevados de nuestro país.

Dado el excedente de energía resultante; además de la posibilidad de instalar sistemas similares al ideado en las líneas 2 y 3 del metro, se prevé que este sistema podría inyectar energía a la red eléctrica nacional, como un auxiliar para la cobertura de la creciente demanda de energía en nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] K. Pérez, «Panameños no utilizan los puentes peatonales,» TVN Noticias, 21 03 2016.
- [2] M. Testa, «Consumo de energía aumenta 5.5% y la generación 1.2%,» La Estrella de Panamá, 16 Marzo 2016.
- [3] R. G. Went, G. M. Hanket, R. W. Birkmire, T. W. Fraser y S. Wiedeman, «Fabrication of thin-film, flexible photovoltaic module». Estados Unidos Patente 6372538, 16 Marzo 2000.
- [4] «Energía fotovoltaica,» [En línea]. Available: www.energiafotovoltaica.ws.
- [5] E. Lorenzo, «Silicio cristalino versus capas delgadas,» 2003. [En línea]. Available: www.censolar.edu.
- [6] O. A. O. D. J. O. Granda-Gutiérrez1, «MODELADO Y SI-MULACIÓN DE CELDAS Y PANELES SOLARES,» 2014.
- [7] F. M. González-Longatt, «Model of Photovoltaic Module in Matlab™,» 2do Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.
- [8] C.-S. T. a. Y.-J. S. Huan-Liang Tsai, «Development of General-ized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK,» World Congress on Engineering and Computer Science, 2008.
- [9] R. L. Meijs, «Pantallas LED,» [En línea]. Available: <http://www.pantallasled.com.mx/articulos/080220-lumenes-vs-watts-en-alumbrado-publico-y-interiores.html>.
- [10] Llumor, «Equivalencia de Lumen a Lux,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.llumor.es/info-led/equivalencia-de-lumena-lux>.
- [11] M. d. Panamá, «Estaciones de Metro de Panamá,» 2017.
- [12] J. Mojica, «Puentes entre robos y buhonería,» La Prensa , 1 Agosto 2015.
- [13] Shenzhen Shine Solar CO., «250W Semi Flexible Solar Pan-el,» 2015. [En línea]. Available: <http://shinesolartech.com/goods/detail/7.htm>.
- [14] E. M. d. Panamá, Estaciones, 09.30-10.03 /2014. [En línea]. Available: www.elmetrodepanama.com/wp-content/.../2_PRESENTACION_ESTACIONES.pptx.