

## **ANÁLISIS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OPERANDO BAJO CONDICIONES DE SOMBRA PARCIAL**

D. De Yong, M. Maldonado, S. Lovera, F. Magnago  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Río Cuarto – UNRC C.P. 5800 – Río Cuarto  
Tel. 0358-4676246 – Fax 0358-4676246 – e-mail: slovera@ing.unrc.edu.ar

*Recibido 09/08/16, aceptado 08/10/16*

**RESUMEN:** En los sistemas de generación de energía a partir del uso de sistemas fotovoltaicos, es de vital importancia la optimización de los mismos para que en todo momento entreguen la máxima potencia disponible. Bajo condiciones de irradiación no uniforme, la curva P-V de estos sistemas resultan más complejas, con la aparición de múltiples picos de máxima potencia locales, por lo que resulta fundamental mecanismos de control con capacidad para identificar el punto de máxima potencia (MPP) global.

Independientemente de la eficiencia del algoritmo de control MPPT, resulta imprescindible al momento de instalar un arreglo fotovoltaico, el estudio de la orientación y disposición de los mismos, de manera que las sombras parciales que incidan sobre la instalación, afecten de manera atenuada desde el punto de vista de la eficiencia energética transferida.

En este trabajo se realiza un estudio de un sistema fotovoltaico bajo diferentes perfiles de sombra y distintas direcciones de entrada sobre el arreglo fotovoltaico. Para ello, a partir de Matlab – Simulink se diseña una plataforma de ensayo para arreglos fotovoltaicos bajo condiciones de sombras parciales.

**Palabras clave:** energía solar, sombras parciales, arreglos fotovoltaicos.

### **INTRODUCCIÓN**

Las energías renovables han experimentado un crecimiento importante en los últimos años, impulsada por la necesidad de satisfacer una demanda de energía creciente y la presión social de proteger al medio ambiente.

Dentro de las energías renovables, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las alternativas viables.

La creciente utilización de la energía solar es debido a que el sol es considerado una de las fuentes de energía más prometedoras, pues se considera una fuente inagotable. Por lo tanto, estas tecnologías de aprovechamiento de energía solar han tenido un gran auge en el mercado eléctrico mundial (Ruiz et al., 2010).

La elección de una planta fotovoltaica (FV) como generadora de energía eléctrica está determinada por su costo de instalación y la habilidad de generar la mayor cantidad de energía teniendo en cuenta todas las variables que influyen en la misma. La radiación solar que afecta a los módulos fotovoltaicos tiene un carácter muy variable según las condiciones específicas del entorno. Cada celda fotovoltaica puede estar sometida a sombras durante el día que pueden ser previsibles, por ejemplo el caso de un edificio situado en las cercanías de la instalación del panel. Otras sombras son más difíciles de prever, por ejemplo, las producidas por las nubes. Por otro lado, la cantidad de energía producida por cada célula fotovoltaica depende de la radiación y de su temperatura (Baethge et al., 2011). Estas condiciones requieren determinar constantemente, instante por instante, el punto sobre la característica V-I del generador fotovoltaico en el que resulte máxima la potencia generada. Es por ello que es importante tener en cuenta diversos detalles tales como la orientación o las sombras al momento de proyectar una instalación de FV.

En este contexto, es importante que la planta FV trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia, conocido comúnmente como punto de máxima potencia (MPP, Maximum Power Point) y se calcula como el producto de la tensión y corriente (VMPP y IMPP respectivamente) en el punto máximo de la curva de potencia del arreglo fotovoltaico (PMPP).

La eficiencia del seguimiento del punto de máxima potencia es un importante aspecto del diseño de control para la operación del sistema de generación fotovoltaica.

Uno de los problemas existentes es la imposibilidad de mantener una radiación uniforme sobre todo el arreglo fotovoltaico, afecta notablemente el rendimiento general del sistema. Bajo estas condiciones, la característica P-V del sistema, se hace más compleja, con la aparición de múltiples picos locales.

Existen gran variedad de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (Alex y Kamala, 2013; Koutroulia et al., 2001), entre los que se pueden mencionar el método perturbar y observar (Femia et al., 2005), los métodos basados en lógica difusa, redes neuronales artificiales, RCC (Ripple Correlation Control) (Esram et al., 2006), conductancia incremental (INC) (Sera et al., 2006) entre otros. Estos algoritmos varían en su complejidad, su velocidad de convergencia al punto de máxima potencia, los sensores utilizados, su costo, su efectividad y otros aspectos.

Estos métodos pueden fallar en caso de sombras parciales sobre el arreglo fotovoltaico, debido a la aparición de MPP locales que pueden hacer fracasar la estrategia de control adoptada.

Es por ello que la comunidad científica ha orientado esfuerzos tendientes a mejorar las acciones de control con el fin de optimizar las estrategias de localización del MPP global bajo condiciones de sombras parciales (Ahmed y Salam, 2015; Dounis et al., 2015).

Por lo tanto, independientemente de la eficiencia del algoritmo de control MPP, es de suma importancia, al momento de instalar un arreglo fotovoltaico, el estudio de la orientación y disposición de los mismos, de manera que las sombras parciales que incidan sobre la instalación, afecten de manera atenuada desde el punto de vista de la eficiencia energética transferida.

Basado en este contexto, el objetivo de este trabajo es el de aportar herramientas de análisis que permitan determinar la mejor disposición geográfica del arreglo fotovoltaico para que, bajo la influencia de sombras parciales, le permita al FV optimizar la producción de energía independientemente del algoritmo de control utilizado.

## MODELO DE CELDA Y PANEL FOTOVOLTAICO

Con el propósito de evaluar el comportamiento de un arreglo fotovoltaico bajo condiciones de sombras parciales, se desarrollaron modelos matemáticos de celdas fotovoltaicas y de paneles fotovoltaicos. Los modelos se desarrollaron utilizando el software Matlab-Simulink.

Los dos modelos más utilizados en la representación de una celda fotovoltaica son el modelo de un solo diodo y el de dos diodos mostrados en la figura 1 (Dash et al., 2015; De Soto et al., 2006). El modelo de un solo diodo es el más usado para la mayoría de los propósitos de análisis de comportamiento de los arreglos fotovoltaicos, ya que proporciona una complejidad moderada y aceptable precisión, por lo cual es el modelo elegido para este trabajo (Bal et al. 2012).

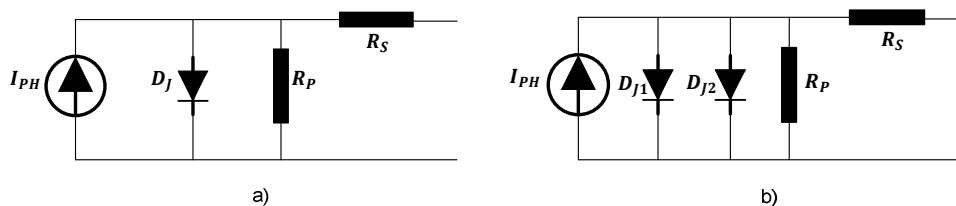


Figura 1: Modelos de Celdas Fotovoltaicas a) Modelo de un solo Diodo b) Modelo de dos Diodos.

En donde:

$I_{PH}$ : Corriente fotogenerada

$D_j, D_{j1}, D_{j2}$ : Diodos en paralelo

$R_p$ : Resistencia shunt o paralelo de la celda

$R_s$ : Resistencia serie de la celda

*Panel Solar.*

La figura 2 muestra las curvas características de una celda fotovoltaica. Se observa, en la curva de potencia  $P_{FV}$ , la existencia de un máximo, denominado punto de máxima potencia (MPP) al cual le corresponden valores de corriente  $I_{MPP}$  y de tensión  $V_{MPP}$ ; dicho punto es único para cada celda solar y varía conforme cambia la irradiación solar y/o la temperatura del panel solar, tal como se muestra en la gráfica de  $P_{FV}$ - $V_{FV}$ .

Para la realización del modelo del panel fotovoltaico se toma como base la ecuación (1) que describe el comportamiento de una celda solar (De Blas et al., 2012; Moham et al., 1995).

$$I = I_{PH} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (1)$$

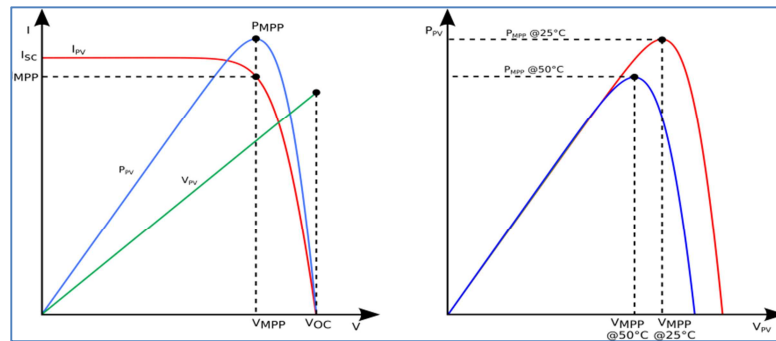


Figura 2: Curva I-V y P-V características de una celda fotovoltaica.

La corriente fotogenerada  $I_{PH}$  depende de las variaciones de irradiación y temperatura (Ruiz et al., 2010).

Si bien los módulos fotovoltaicos convencionales están compuestos por celdas solares en serie, en un modo general, y de modo de adecuar los niveles de tensión y corriente que conforman al panel fotovoltaico, es necesaria la combinación de celdas fotovoltaicas en serie y/o en paralelo para permitir la representación de módulos solares con niveles de tensión y corriente determinados. La ecuación (2) representa la corriente de un módulo fotovoltaico.

$$I = N_p \left( I_{PH} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot \left( \frac{V}{N_s} + \frac{R_s \cdot I}{N_p} \right)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{\frac{V}{N_s} + \frac{R_s \cdot I}{N_p}}{R_p} \right) \quad (2)$$

En donde:

$N_s$ : Número de celdas en serie

$N_p$ : Número de celdas en paralelo

A partir de estas ecuaciones, se realizó el modelado del panel fotovoltaico de 85 watt pico, al cual se le verificó su comportamiento para diferentes niveles de irradiación y temperatura (Marcial et al., 2015).

<b>Tensión a circuito abierto (<math>V_{oc}</math>)</b>	22,2V
<b>Tensión de operación óptima (<math>V_{mp}</math>)</b>	17,8V
<b>Corriente de cortocircuito (<math>I_{sc}</math>)</b>	5,11A

<b>Corriente de operación óptima (<math>I_{mp}</math>)</b>	4,78A
<b>Potencia pico</b>	85W
<b><math>\alpha</math></b>	0,037 %/°C
<b><math>\beta</math></b>	-0,034 %/°C

Tabla 1: Parámetros del panel fotovoltaico para una irradiación de  $1000W/m^2$  y  $T_a = 25^\circ C$ .

Los valores nominales del panel se seleccionaron del módulo fotovoltaico disponible para la realización de las pruebas de laboratorio. La tabla 1 muestra los parámetros para el modelado del panel.  $\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes de temperatura de corriente de cortocircuito y tensión a circuito abierto respectivamente.

#### Arreglo Fotovoltaico y Perfil de Sombra.

Definido el modelo del Panel, y con el objetivo de evaluar el comportamiento de un arreglo fotovoltaico bajo condiciones de sombras parciales, se propone una combinación serie-paralelo de paneles tal como se muestra en la figura 3 (Patel y Agarwal, 2008; Ramaprabha y Mathur, 2008).

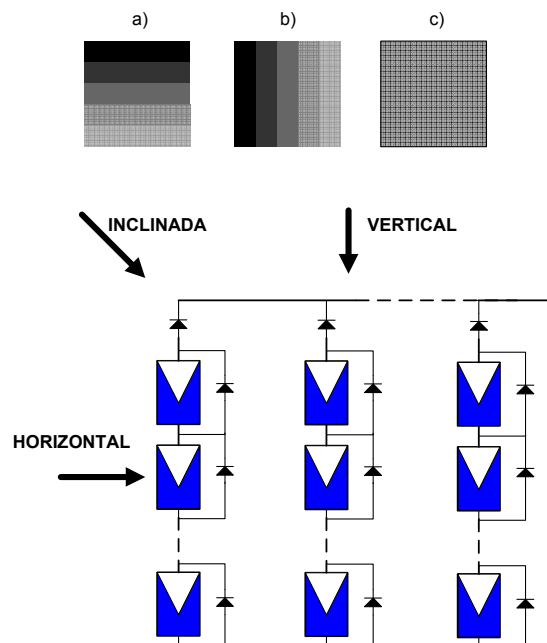


Figura 3: Perfiles de sombra y Estructura general de un arreglo fotovoltaico.

En la figura pueden observarse los diodos de paso y de bloqueo, utilizados para evitar la disipación de potencia excesiva sobre paneles o celdas solares, y la recirculación de corriente entre ramas en paralelo respectivamente, en caso de que la irradiación no sea uniforme sobre la superficie total del arreglo. Si bien los paneles comerciales poseen más de un diodo de paso, como en este trabajo la radiación sobre cada panel del arreglo se considera uniforme en todo momento, un solo diodo es suficiente en el modelo de panel.

En nuestro caso, se diseñó un arreglo fotovoltaico de seis ramas conectadas en paralelo, y cada rama está conformada por seis paneles solares en serie.

Definido el arreglo fotovoltaico, falta ahora, para un perfil y dirección de avance de sombra, determinar a cada instante las curvas I-V y P-V del arreglo.

Se definen tres direcciones de avance para el frente de sombra, vertical, horizontal e inclinado ( $45^\circ$ ), tal se ilustra en la figura 3.

El avance de sombra es tal que para cada paso  $\Delta S$ , a cada fila de paneles (en caso de avance vertical), o a cada columna de paneles (en caso de avance horizontal), les corresponde igual nivel de irradiación. En el caso de avance inclinado, cada  $\Delta S$  afecta a todos los paneles de la diagonal matricial del arreglo.

Se eligieron tres perfiles de sombra diferentes, según se ilustra en la figura 3. Uno de ellos tiene un nivel de irradiación constante de  $500 \text{ W/m}^2$  (figura 3-c), mientras que los otros dos restantes tienen un paso de radiación variable  $\Delta R$  de  $150 \text{ W/m}^2$ , desde un máximo de  $850 \text{ W/m}^2$  a  $250 \text{ W/m}^2$  (figura 3-a y b) con un salto de radiación de  $150 \text{ W/m}^2$ . Se considera, además, que, ante ausencia de sombra, la irradiación solar corresponde a  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### **ESTRUCTURA DEL AMBIENTE DE SIMULACIÓN**

La instalación de un arreglo de paneles fotovoltaicos, el análisis de la influencia de los cambios en las variables climáticas que afectan su rendimiento y el diseño de algoritmos que permiten el seguimiento del punto de máxima potencia son tareas que requieren del análisis de las curvas de tensión, corriente y potencia extraída para diferentes condiciones.

La simulación de condiciones climáticas cambiantes en el tiempo, representadas como alteraciones en la radiación y temperatura que afecta cada panel fotovoltaico, es una tarea que involucra la carga manual de dichas variables para cada panel que conforma el arreglo.

Alterar las diferentes variables que permiten la simulación del avance de una sombra por la superficie del arreglo es una tarea usualmente engorrosa, que requiere de cierta pericia por parte del usuario y un conocimiento detallado de las variables que gobiernan el modelo las que normalmente son ajenas a quienes no hayan participado de manera directa en su desarrollo.

Debido a lo anteriormente mencionado, con el objetivo de permitir a un usuario no familiarizado en el desarrollo del modelo realizar simulaciones de diferentes escenarios se desarrolló en MATLAB una herramienta que permite, a través de diferentes cuadros de diálogo, la configuración de las condiciones de radiación y temperatura que afectan a un arreglo conformado por un número determinado de paneles en una arquitectura matricial.

Para emular el avance de una sombra sobre el arreglo de paneles fotovoltaicos, la herramienta desarrollada permite cargar diversas transiciones que representan las condiciones de radiación y temperatura para distintos instantes de tiempo.

La Figura 4, ilustra las distintas opciones que presenta el programa desarrollado:



*Figura 4: Panel principal.*

Seleccionando “Carga de Temperaturas” se accede a una nueva interfaz gráfica, la que se muestra en la Figura 5. En esta pantalla se puede ingresar de manera independiente, la temperatura de cada panel del arreglo para cada transición.

Debido a que la temperatura es una variable relativamente homogénea para un arreglo de pequeñas dimensiones, la interfaz desarrollada permite la carga simultánea de un valor de temperatura para el arreglo completo. Esto se realiza seleccionando “Temperatura del panel” donde se incorpora la temperatura del arreglo de celdas correspondiente. Esto se debe realizar para cada una de las transiciones.

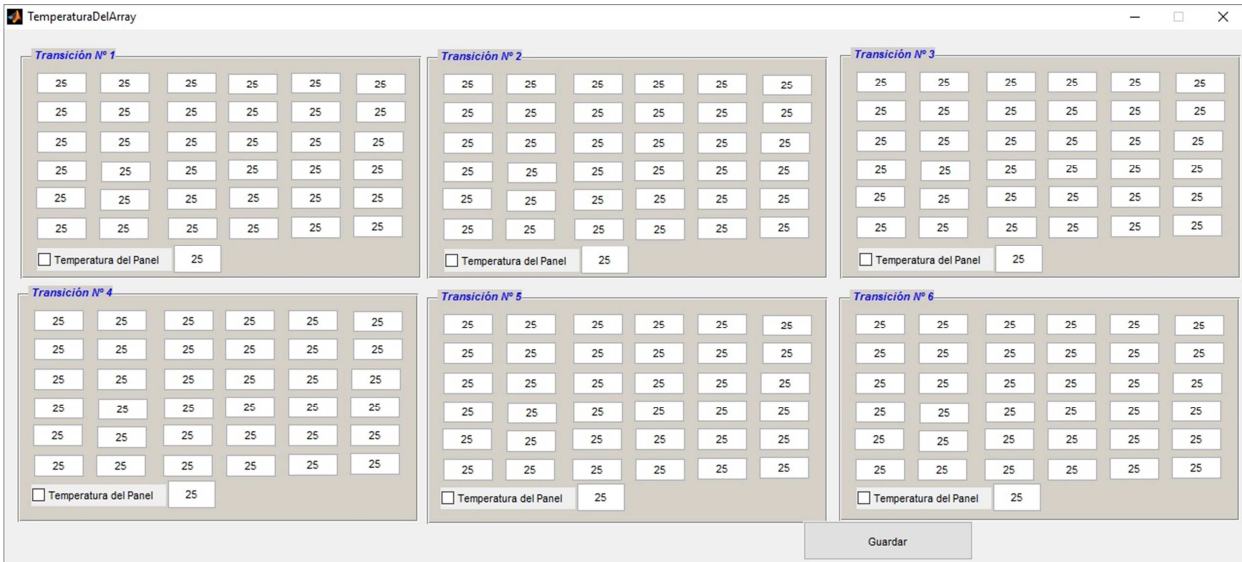


Figura 5: Panel de carga de temperatura del Arreglo.

Finalmente, seleccionando “Carga de Radiación”, se accede a una nueva interfaz gráfica tal como se muestra en la Figura 6. En esta instancia se puede ingresar la radiación solar que afecta a cada panel del arreglo. Tal como se aclaró oportunamente al realizar el modelo de panel con un solo diodo de paso, en cada transición de avance de sombra  $\Delta S$ , la irradiación que afecta a cada módulo fotovoltaico individual es uniforme.

La herramienta desarrollada permite configurar el perfil de una sombra que afecta el arreglo de paneles solares para las transiciones determinadas, simulando, de este modo, el avance de una sombra sobre el arreglo correspondiente a los distintos períodos temporales.



Figura 6: Panel de carga de la radiación del Arreglo.

Como resultado de las simulaciones, la herramienta desarrollada devuelve tres arreglos matriciales correspondientes a los perfiles de tensión, corriente y potencia para cada una de las condiciones configuradas para cada transición.

## RESULTADOS DE SIMULACIÓN OBTENIDOS

Definidos los perfiles de sombra y las direcciones de avance sobre el arreglo fotovoltaico, se muestran los resultados de las características I-V y P-V para cada uno de los tres escenarios propuestos.

### Escenario 1.

Las figuras 7, 8 y 9 muestran el resultado de simulación de las curvas I-V y P-V del arreglo para dirección de ataque vertical, horizontal e inclinado respectivamente, correspondiente al avance del perfil de sombra a) de la figura 3 sobre el arreglo fotovoltaico.

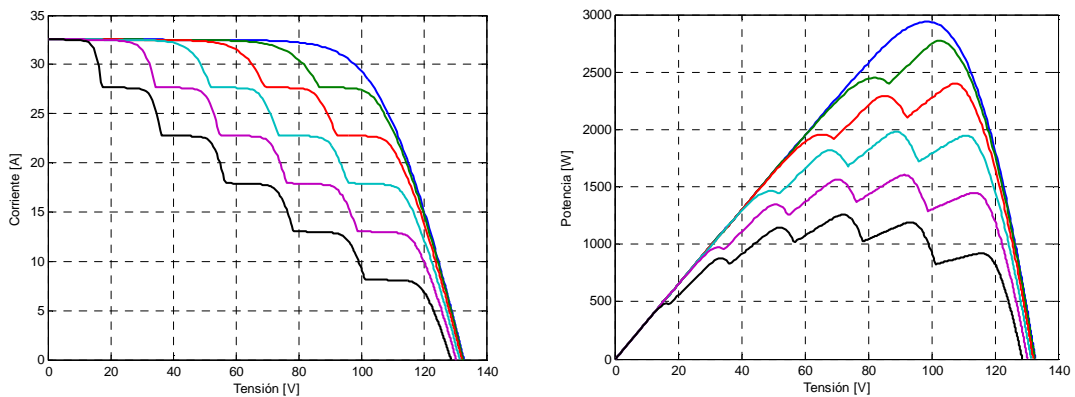


Figura 7: Características I-V y P-V para avance vertical de perfil de sombra.

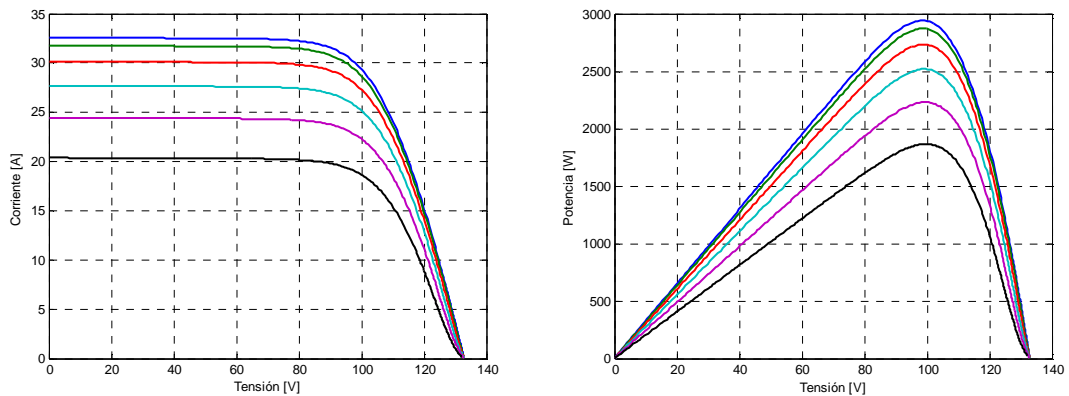


Figura 8: Características I-V y P-V para avance horizontal de perfil de sombra.

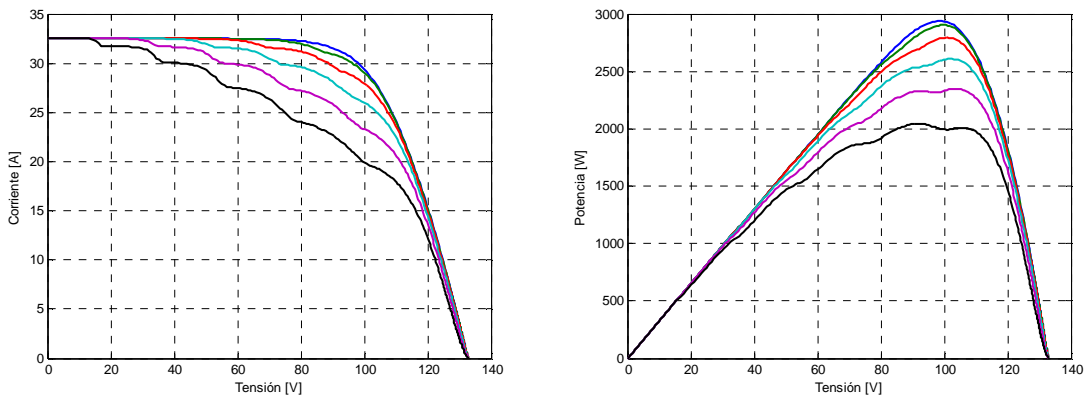


Figura 9: Características I-V y P-V para avance inclinado de perfil de sombra.

### Escenario 2.

Para el perfil de sombra b) (figura 3), los resultados de simulación para dirección vertical, horizontal e inclinada de avance de sombra, se muestran en las figuras 10, 11 y 12 respectivamente.

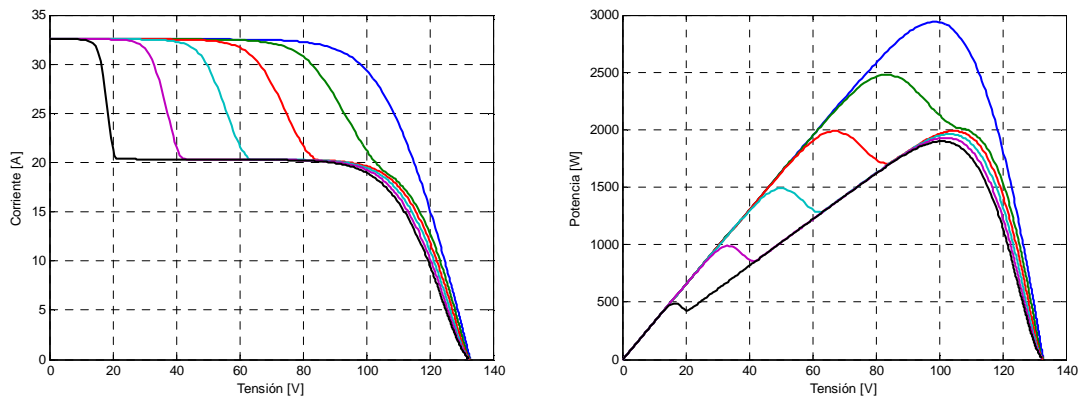


Figura 10: Características I-V y P-V para avance vertical de perfil de sombra.

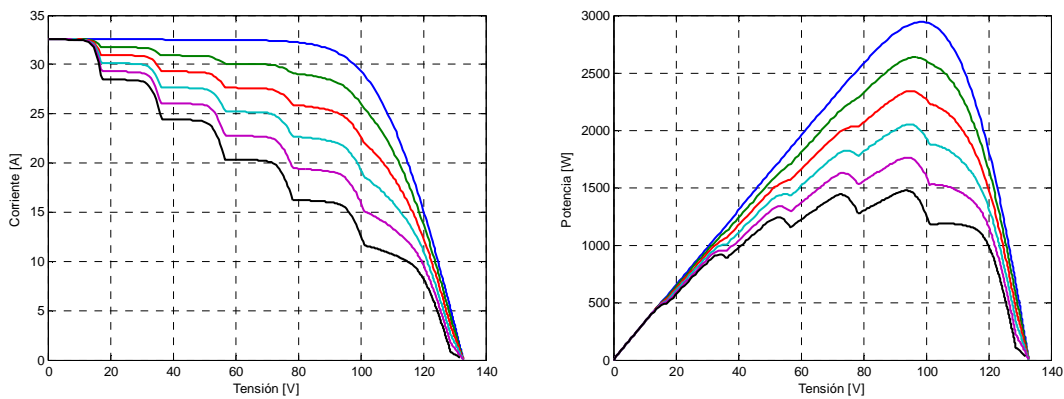


Figura 11: Características I-V y P-V para avance horizontal de perfil de sombra.

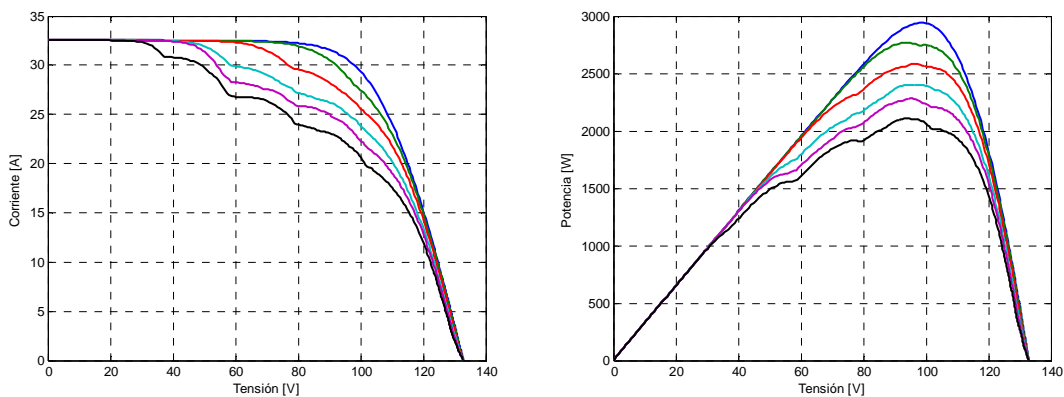


Figura 12: Características I-V y P-V para avance inclinado de perfil de sombra.

### Escenario 3.

En las figuras 13, 14 y 15 se muestran las características I-V y P-V para el arreglo fotovoltaico propuesto para el perfil de sombra c) (figura 3) y diferentes direcciones de avance de sombra.

Del análisis de las gráficas del escenario 1 puede concluirse que para un avance vertical del perfil de sombra, se producen MPP locales, que incrementan su número a medida que la sombra profundiza sobre el sistema fotovoltaico. Por otro lado el MPP global sufre un corrimiento hacia valores de tensión más reducidos.



Cuando el ángulo de ataque del perfil de sombra es horizontal, en cualquier instante existe un único MPP, y se observa un mínimo corrimiento horizontal (eje de tensión del sistema), con lo cual los valores de potencia máxima disponibles, son mayores a los de la figura 7 para iguales condiciones de sombreado.

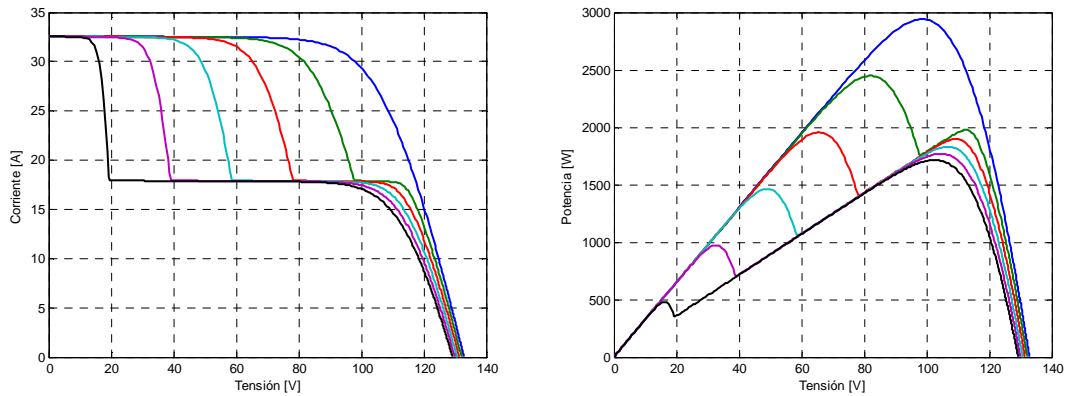


Figura 13: Características I-V y P-V para avance vertical de perfil de sombra.

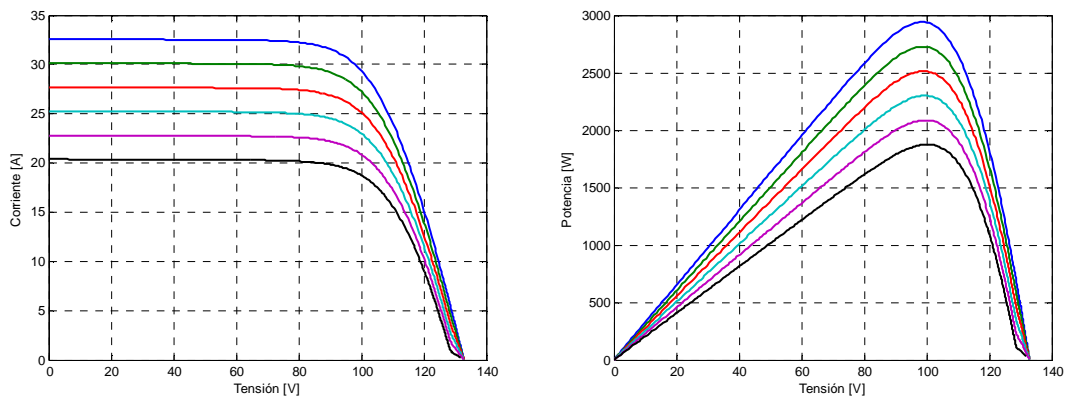


Figura 14: Características I-V y P-V para avance horizontal de perfil de sombra.

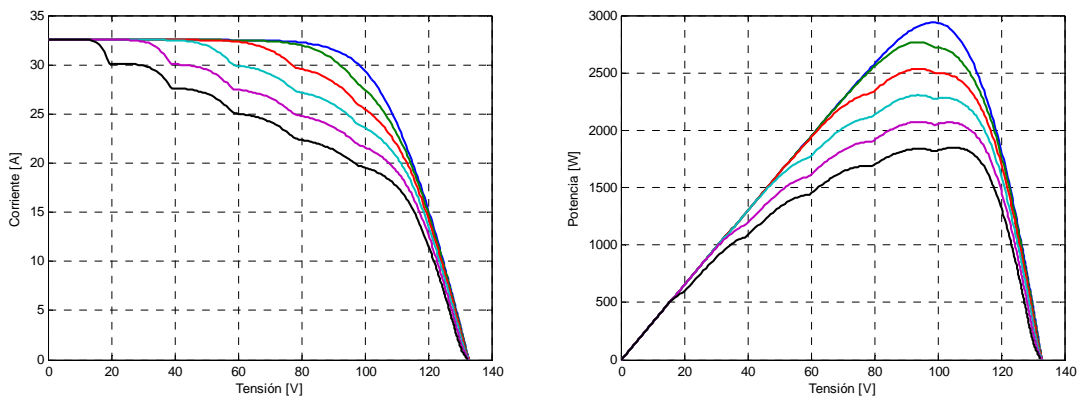


Figura 15: Características I-V y P-V para avance inclinado de perfil de sombra.

Con un avance de sombra inclinado ocurre una combinación de los casos anteriores (avance vertical y horizontal), es decir que aparecen MPP locales, pero menos pronunciados. Sin embargo por comparación cuantitativa de las gráficas de potencia, el MPP global es levemente mayor que los casos anteriores. Esto es así debido a que la superficie cubierta sobre el sistema por el frente de sombra para cada  $\Delta S$ , es considerablemente menor.

Para el caso del escenario 2, una entrada vertical de sombra produce dos MPP locales, y el MPP global al final de las transiciones, es mayor que para un ataque horizontal.

Cuando la entrada de sombra es inclinada, el MPP global es mayor a los casos anteriores.

En el escenario 3, para un frente de sombra con irradiación constante, se puede observar que una dirección horizontal del avance de sombra es el más favorable desde el punto de vista de producción de energía, con un solo MPP. Sin embargo, a medida que la sombra avanza sobre el arreglo, en el caso de una dirección inclinada, la diferencia en la energía posible a extraer, para un mismo instante de tiempo, se acorta debido a que la superficie cubierta por la sombra es significativamente menor, presentando múltiples MPP locales.

## CONCLUSIONES

Para un mismo perfil de sombra, un ataque horizontal o vertical se puede lograr con solo cambiar las conexiones del sistema fotovoltaico, de modo que las ramas series del mismo se posicionen en forma perpendicular o paralelas al frente de sombra, según convenga. Del mismo modo, es posible encontrar ángulos diferentes para la entrada de sombra de manera de optimizar el sistema.

Las sombras producidas por accidentes geográficos tales como elevaciones montañosas o los producidos por construcciones edilicias, en general se pueden asociar a perfiles como el c) (reducción de irradiación constante sobre todo el perfil), por lo que una entrada horizontal de sombra será más eficiente, ya que no solo se logra un MPP mayor, sino que este pico es único, por lo que al algoritmo de control no se le presenta la dificultad de distinguir entre MPP locales o global.

Para un frente de sombra con niveles de irradiación variable como los producidos por nubes o vegetación, una dirección de ataque inclinada respecto del sistema, permite optimizar la producción de energía del mismo. Si bien la dirección de avance de nubes no sigue un patrón determinado, la dirección de vientos del lugar de emplazamiento del sistema fotovoltaico, podrían ayudar a la optimización de producción de energía del sistema.

Para los perfiles de sombra presentados en este trabajo, en el escenario 1 y 3, una penetración horizontal del perfil de sombra hace más eficiente al sistema, a la vez que presenta un solo pico de potencia, facilitando a los algoritmos de seguimiento del MPP (MPPT) la ubicación exacta del mismo.

La plataforma de simulación propuesta, en definitiva, permite el estudio de diferentes perfiles de sombra, y el efecto que estos producen sobre el sistema fotovoltaico.

Por otro lado, a partir de la incorporación de algoritmos de MPPT a la plataforma, permitirá evaluar el comportamiento dinámico de los mismos bajo condición de sombras parciales.

Los resultados consideran que para cada  $\Delta S$  corresponde igual nivel de irradiación sobre toda la superficie de cada panel individual. En la práctica esta condición no ocurre, por lo que debido al diseño de construcción de los paneles comerciales, deberá realizarse un análisis similar al presente trabajo para determinar la disposición de los mismos sobre el arreglo fotovoltaico, de modo de optimizar la transferencia de energía.

## REFERENCIAS

- Alex J. y Kamala J. (2013). PV array characteristics analysis under partial shading & modeling of P&O MPPT applied boost convertor using Matlab/Simulink. Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 566-601.
- Ahmed J. y Salam Z. (2015). A critical evaluation on maximum power point tracking methods for partial shading in PV systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, 933-953.
- Baethge E., Berzoy A., Guzmán V. y Giménez M. (2011). Nuevo Sistema de Control para el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia en Paneles Solares basado en el Control Predictivo de Corriente de Convertidores CC-CC. Universidad, Ciencia y Tecnología, 15, 60, 151-160.
- Bal S., Anurag A. y Chitti Babu B. (2012). Comparative Analysis of Mathematical Modeling of Photo-Voltaic (PV) Array. Annual IEEE India Conference (INDICON), 269-274.

- Dash S., Raj R., Nema S. y Nema R. (2015). Development of Photovoltaic (PV) Cell/Module/Array and Non-uniform Irradiance Effect Based on Two-diode Model by Using PSPICE Simulator. *International Conference on Nascent Technologies in the Engineering Field*, 1-6.
- De Blas M., Torres J., Prieto E. y García A. (2002), Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices. *Renewable Energy* 25, 3, 371–380.
- De Soto W., Klein S. y Beckman W. (2006), Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. *Solar Energy* 80, 1, 78–88.
- Dounis A., Kofinas P., Papadakis G. y Alafodimos C. (2015). A direct adaptive neural control for maximum power point tracking of photovoltaic system. *Solar Energy* 115, 145–165.
- Esrām T., Kimball J., Krein P., Chapman P. y Midya P (2006). Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 21, 5, 1282–1291.
- Femia N., Petrone G., Spagnuolo G. y Vitelli M. (2005). Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20, 4, 963–973.
- Koutroulia E., Kalaitzakis K. y Voulgaris N. (2001). Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 16, 1, 46–54.
- Marcial F., Alvarez M., Maldonado M., Lovera S. y Magnago F. (2015). Diseño y Construcción de un Regulador de Tensión para Sistemas Solares con Seguimiento de Máxima Potencia. XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente ASADES, 1-12.
- Moham N., Undeland T. y Robbins W. (1995). *Power Electronics. Converters, Applications and Design*, 2ª edición, pp 161–195. John Wiley & Sons, Inc.
- Patel H. y Agarwal V. (2008). MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23, 1, 302-310.
- Ramaprabha R. y Mathur B. (2008). Modelling and Simulation of Solar PV Array under Partial Shaded Conditions. *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies* 7-11.
- Ruiz C., Luis J., Beristáin J., José A., Sosa T., Ian M., Hernández L. y Jesús H. (2010). Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar. *RIEE&C, Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación*, 8, 1, 17–23.
- Sera D., Kerekes T., Teodorescu R. y Blaabjerg F.(2006). Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions. *Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2006*, 1614–1619.

## ABSTRACT

In photovoltaic based electrical power generations, it is critical to optimize them to deliver the maximum power. Under non-uniform irradiation, the P-V curve is more complex, due to the appearance of multiple local maximum power peaks. Therefore, it is crucial to adopt control mechanisms capable of identifying the global maximum power point (MPP).

Regardless of the efficiency of the control algorithm (MPPT), it is essential, when installing a photovoltaic array, the study of the orientation and the arrangement because the partial shadows affect the energy efficiency of the photovoltaic array.

The objective of this paper is to present an analysis of a photovoltaic array under the presence of different partial shadows profiles and input directions. A simulation tool is developed to study this effect.

**Keywords:** solar energy, partial shadows, photovoltaic array.