

## Estudio de la curva característica de paneles fotovoltaicos ante la variación de los parámetros de su instalación y de las estaciones del año.

Mg. Ing. Adrian D'Andrea<sup>1</sup>, Ing. Carlos Pacheco<sup>2</sup>, Matías Maglianesi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento Académico Eléctrica - UTN Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina – afadandrea@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento Académico Eléctrica - UTN Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina – cgpach@yahoo.com.ar

<sup>3</sup> Departamento Académico Eléctrica - UTN Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina – matias.maglianesi@gmail.com

### RESUMEN

En la última década, el costo por kW generado mediante energía fotovoltaica se redujo desde un 66% hasta un 84% (Irena, 2019), este fenómeno genera un interés mayor en la forma de generar energía eléctrica amigable con el medio ambiente en diferentes grupos, comprendidos desde pequeños usuarios generadores que buscan un método para reducir su consumo eléctrico, hasta medianas y grandes instalaciones con el fin de generar para la comercialización de energía.

La eficiencia energética de los sistemas solares fotovoltaicos es afectada por múltiples factores externos. Con el creciente interés en este tipo de tecnología es de vital importancia encontrar formas de optimizar la generación de estos sistemas.

El presente trabajo expone y explica los resultados de mediciones de las curvas potencia obtenidas en un panel fotovoltaico de 100Wp para diferentes condiciones de instalación en la ciudad de Santa Fe a lo largo de las estaciones del año. En el trabajo se muestran las potenciales ganancias o pérdidas de potencia eléctrica para las diferentes condiciones de inclinación del panel y estaciones del año, tomando como referencia la inclinación anual óptima.

**Palabras claves:** Energía solar; Panel Fotovoltaico, Generación de Energía, Eficiencia Energética

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década, el costo por kW de la energía fotovoltaica, se redujo entre un 66% a un 84% (Irena, 2019), este fenómeno genera un mayor interés en este tipo de tecnología por diferentes grupos de usuarios, los cuales comprenden desde pequeños emprendedores que buscan un método para reducir el consumo eléctrico de la red de distribución, hasta grandes inversores que buscan hacer instalaciones para la comercialización de la producción de energía.

La Argentina posee una superficie de 2.76 millones de Km<sup>2</sup>, y una extensión mayor a 3500 km de norte a sur, presentando en los lugares más óptimos, una radiación solar mayor a 7.5 kWh/m<sup>2</sup> (Grossi et al., 2007), lo que genera un rango de oportunidades para la instalación de este tipo de generación en el país. En el caso específico de la provincia de Santa Fe, la insolación media diaria anual (en el plano horizontal), va de un rango de 4.45 a 4.85 kWh/m<sup>2</sup>/día en el plano horizontal como se ve en la Figura 1, teniendo en el mes de enero valores de hasta 7.25 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que en octubre hay valores tan bajos como 2.2 kWh/m<sup>2</sup>/día (generfe, 2018). Dada la amplia variación de irradiación en el plano horizontal, surge la pregunta de cómo aumentar la eficiencia de los paneles a lo largo del año.

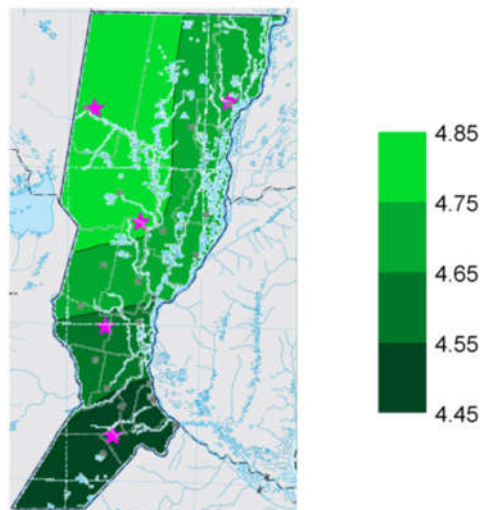


Figura 1. Insolación media anual para la provincia de santa fe en kWh/m<sup>2</sup>/día

Nota: adaptado de Estado de la Red Solarimetrica de Santa Fe (pag.20) FIQ – IFIS-Litoral, UNL – CONICET Grupo de Energías no Convencionales, 2015

Para aumentar la eficiencia de un panel, se puede trabajar desde varios apartados diferentes, como lo son la temperatura, o la orientación e inclinación. En este trabajo nos centraremos en

estas últimas condiciones, ya que la potencia de salida es proporcional a la radiación captada por el panel, la cual presenta un máximo al estar perpendicular a los rayos solares incidentes.

## 2. METODOLOGÍA

Para la adquisición de datos se colocó el panel fotovoltaico en la plataforma móvil con inclinación regulable que se observa en la Figura 2. Las diferentes mediciones fueron realizadas en un mismo día, y en el cual se modificaron tanto el ángulo de inclinación como de orientación respecto al norte magnético.



Figura 2. Plataforma ajustable para ensayos de paneles fotovoltaicos.

Al mantener constante los valores de radiación solar y la orientación del panel, la corriente de salida varía con la tensión sobre la carga y la temperatura (Fernández, 2010: 291), y dado que para el ensayo la temperatura tuvo una variación mínima dentro de una misma serie de ensayos ya que se realizaron bajo las mismas condiciones ambientales, y que se analizó la variación porcentual entre las mediciones y no los valores en sí, la temperatura no es un factor relevante para este estudio.

Para la obtención de la curva, se utilizó una carga electrónica con la cual se obtuvieron 20 puntos diferentes de la curva característica de salida de tensión-corriente del panel de manera automática. Finalmente, se aproximó la curva utilizando interpolación lineal con la forma vista en la ecuación (1), ya que está es la modelización del comportamiento del panel, buscando un ajuste mayor al 99.5%.

$$I(V) = a - b * e^{-c*V} \quad (1)$$

Una vez obtenidas las curvas para las diferentes inclinaciones como las que se observan en la Figura 3.

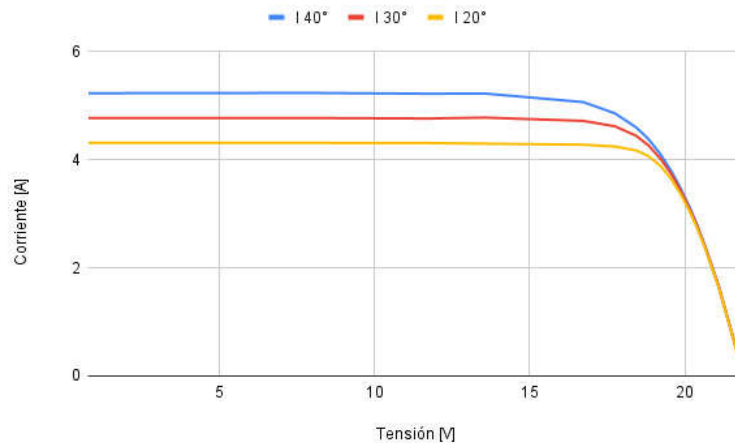


Figura 3. Curva característica del panel fotovoltaico para 3 ángulos de inclinación diferentes.

Luego se encuentra el valor de potencia máxima de salida como el producto de la tensión y la corriente en cada punto, para cada medición y así poder comparar los valores entre sí.

Este trabajo se realizó en diferentes ocasiones a lo largo de múltiples ensayos a lo largo del año.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los valores obtenidos luego de realizar cada ensayo se los comparó teniendo en cuenta la variación porcentual, y tomando como valor de referencia el valor con una inclinación de 30° y misma orientación.

Este procedimiento se realizó teniendo en cuenta que, para obtener la mejor eficiencia anual sin mover la posición, el ángulo debe ser el más cercano a la latitud del lugar donde está instalado (SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, 2007: 34).

Dado que los resultados de los ensayos se obtuvieron en el banco instalado en la terraza de la Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Fe, que se encuentra a una latitud de -31.61°, todas las mediciones fueron referenciadas a la realizada a 30°. Los resultados se los pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Valores porcentuales de potencia en relación a la medición a 30° de inclinación con la misma orientación para diferentes ensayos.

Orientación	4/5/22	11/5/22	29/6/22	31/8/22	14/9/22	27/10/22	27/10/22	24/11/22
40° N	14,86	-7,21	9,88	0,5	0,24	-3,87	-4,46	-7,1
30° N	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N	-2,77	-5,97	-10,05	-5,17	-1,88	0,92	1,94	3,36
40° N+10W	4,26	5,61	9,83	2,37	1,41	-3,59	-6,05	-6,46
30° N+10W	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N+10W	-6,04	-6,85	-11,58	-7,93	-3,03	-3,59	2,93	2,77
40° N+20W	0,14	5,03	5,45	3,05	1,09	-6,25	-6,27	-5,87
30° N+20W	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N+20W	-3,82	-7,11	-4,93	-4,04	-3,93	2,15	2,75	2,94
40° N+10E	5,04	7,01	9,64	7,24	0,26	-3,25	-3,7	-8,45
30° N+10E	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N+10E	-6,36	-2,53	-10,31	0,75	-2,51	0,54	2,4	3,93
40° N+20E	4,88	3,48	8,79	-1,49	1,36	-4,22	-4,98	-1,22
30° N+20E	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N+20E	-6,17	-9,33	-9,74	1,68	-1,08	1,47	1,48	7,34

Al analizar la tabla, se puede apreciar una tendencia en los resultados donde para valores con mayor inclinación se obtuvieron mayores valores de potencia durante los meses de invierno, mientras que con el ángulo de 20° se obtuvo una pérdida de potencia. En cambio, para los meses de verano para este ángulo se obtuvieron ganancia de potencia.

Por otro lado, si solo comparamos los valores de orientación donde obtuvimos las mayores potencias, obtenemos la

El objetivo de esto es minimizar las variaciones por la hora de la que se realizó la medición, buscando que el panel esté orientado lo más perpendicularmente posible a los rayos incidentes del sol, para así simular la potencia que tendría el panel en el mediodía solar, donde se encontraría su pico de producción.

Tabla 2. Valores porcentuales de potencia en relación a la medición a 30° para la orientación con la máxima potencia de salida.

Medición	4/5/22	11/5/22	29/6/22	31/8/22	14/9/22	27/10/22	27/10/22	24/11/22
Orientación	N+20E	N+20W	N+20E	N+20W	N+10E	N+10E	N+10E	N+20W
40° N	4,88	5,03	8,79	3,05	0,26	-3,84	-2,79	-6,01
30° N	0	0	0	0	0	0	0	0
20° N	-6,17	-7,11	-9,74	-4,04	-2,51	0,31	2,75	2,96
Día del año	124	131	179	243	256	300	328	340

De esta tabla, se puede ver como la ganancia al estar inclinado a los 40° va en aumento, hasta llegar a un valor máximo a final de junio, ocurriendo de manera idéntica con las pérdidas. Este momento es coincidente con ser la fecha más próxima al solsticio de invierno (21 de junio del 2022), momento donde el sol se encuentra en el menor ángulo en el cielo, para luego volver a aumentar como se ve en la Figura 4. Por este motivo para captar mayor radiación solar, se debe aumentar el ángulo en invierno, y reducirlo en verano.

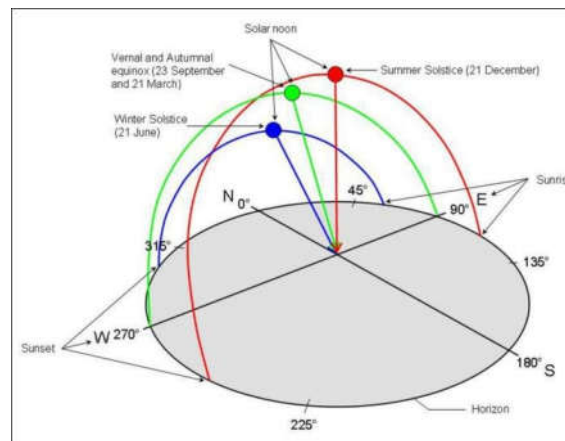


Figura 4. Recorrido del sol a lo largo de diferentes estaciones en el hemisferio sur (Conradie, 2010)

#### 4. CONCLUSIONES

Con los valores presentados se puede apreciar la existencia de una variación de la potencia de salida significativa para los diferentes ángulos de inclinación a lo largo del año. Este comportamiento se corresponde con los modelos teóricos, los cuales dictan que el panel debe tener ángulos mayores en invierno y menores en verano. Teniendo a una misma diferencia de ángulo (tanto positiva como negativa) respecto al valor recomendado, un comportamiento casi idéntico en la variación, solo que en sentidos opuestos. Comprobando experimentalmente que



la máxima diferencia de salida se dará en los días de solsticio, mientras que la mínima será durante los equinoccios

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Generfe. (2018). Informe de Radiación Solar en la provincia de Santa Fe. Disponible en <https://www.santafe.gob.ar/ms/generfe/wp-content/uploads/sites/23/2018/11/Informe-de-radiaci%C3%B3n-solar.pdf>

Conradie, D. C. (2010). Maximising the sun. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10204/7519>

Grossi Gallegos, H y Righini, R. (2007). ATLAS DE LA ENERGÍA SOLAR DE LA REPÚBLICA ARGENTINA.

IRENA (2019), "Renewable Power Generation Costs in 2018", International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi (2019). Disponible en [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA\\_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf)

Fernández, J. (2010). COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica (Adaptado al Código Técnico de la edificación y al nuevo RITE). Madrid: amadrid, 291.

Solar Energy International. (2007). PHOTOVOLTAICS Design and Installation Manual. Gabriola Island: New Society Publishers. 34.