

## Variación de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico para diferentes ángulos de inclinación y estaciones.

### Variation in the efficiency of a photovoltaic solar panel for different inclination angles and seasons.

**Matías Maglianesi**

Facultad Regional Santa Fe, UTN  
mmaglianesi@frsf.utn.edu.ar

**Johann Schmidt Waigel**

Facultad Regional Santa Fe, UTN  
jschmidtwaigel@frsf.utn.edu.ar

**Nicolas Bon**

Facultad Regional Santa Fe, UTN  
nbon@frsf.utn.edu.ar

#### Resumen:

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 de un sistema fotovoltaico para diferentes condiciones de instalación en el departamento La Capital, Santa Fe, Argentina a lo largo de las estaciones de otoño e invierno. Se encontraron las potenciales ganancias o pérdidas de potencia eléctrica para las diferentes condiciones de inclinación del panel para los diferentes meses, tomando la inclinación anual recomendada como la referencia.

#### Palabras claves:

Panel solar; Energía solar; Eficiencia energética; Energía renovable

#### Abstract:

The efficiency in a photovoltaic solar system is affected by a multitude of external factors. With the increasing interest in this type of technology, is vital to find ways to optimize the generation using these systems. This work presents and explains the results of the measurement of the power curves of a photovoltaic system for different installation conditions in the department of La Capital, Santa Fe, Argentina during the autumn and winter seasons. It was found the potential gain or losses of electric power for the different conditions of tilt for the panel for the various month, using the recommended annual tilt as the reference.

#### Keywords:

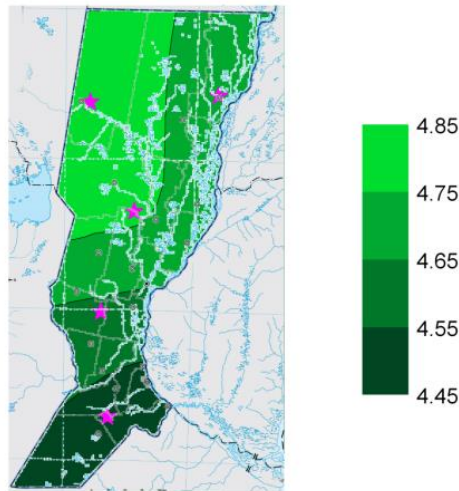
Solar panel; Solar energy, Electric efficiency; Renewable energy

#### 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 despierta 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 algunos lugares, una radiación solar mayor a 7.5 kWh/m<sup>2</sup> (Grossi et al., 2007), lo que genera múltiples 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.

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

### Metodología:

Para la adquisición de datos se colocó el panel fotovoltaico en el soporte móvil con inclinación regulable que se observa en la Figura 2, para las diferentes mediciones en un mismo día, se modificó tanto el ángulo de inclinación como de orientación respecto al norte magnético.



**Figura 2.** Plataforma ajustable para ensayos de paneles fotovoltaicos.

Luego como al mantener constante los valores de potencia luminosa y orientación del panel, la corriente de salida varía con la tensión de 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 para obtener 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), siendo a, b y c los valores obtenidos a partir de la interpolación, V la tensión medida en el panel para cierto estado de carga en volts e I la corriente para ese mismo estado de carga en ampere. Esta ecuación es la modelización ideal 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 ven en la Figura 3, se buscó el valor de potencia máxima de salida, el producto de la tensión y la corriente en cada punto, para cada medición para poder comparar los valores entre sí. Esto se realizó en diferentes ocasiones a lo largo de múltiples mediciones en otoño e invierno.

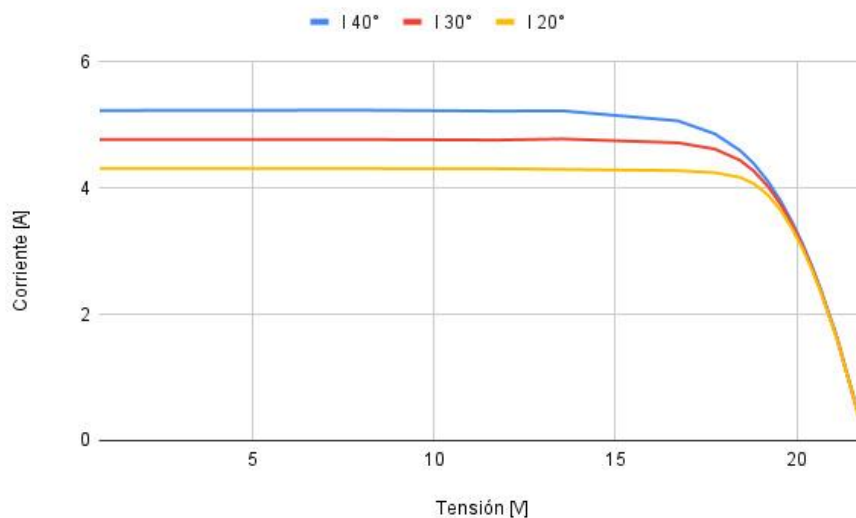


Figura 3. Curva característica del panel fotovoltaico para 3 ángulos de inclinación diferentes.

### Resultados y discusión:

Para todos los valores obtenidos se comparó la variación porcentual, tomando como valor de referencia el valor con una inclinación de 30° con la misma orientación. Esto se lo realizó ya que para la mejor eficiencia anual (con el ángulo fijo), el ángulo debe ser el más cercano a la latitud donde está instalado (SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, 2007: 34). Dado que las pruebas se realizaron en la UTN-frsf, la cual se encuentra a una latitud de -31.61°, todas las mediciones se las referencio a la realizada a 30°. Los resultados se los pueden observar en la **Tabla 1**.

Orientación	04/05/2022	11/05/2022	29/06/2022	31/08/2022
40° N	14,86	-7,21	9,88	0,5
30° N	0	0	0	0
20° N	-2,77	-5,97	-10,05	-5,17
40° N+10W	4,26	5,61	9,83	2,37
30° N+10W	0	0	0	0
20° N+10W	-6,04	-6,85	-11,58	-7,93
40° N+20W	0,14	5,03	5,45	3,05
30° N+20W	0	0	0	0
20° N+20W	-3,82	-7,11	-4,93	-4,04
40° N+10E	5,04	7,01	9,64	7,24
30° N+10E	0	0	0	0
20° N+10E	-6,36	-2,53	-10,31	0,75
40° N+20E	4,88	3,48	8,79	-1,49
30° N+20E	0	0	0	0
20° N+20E	-6,17	-9,33	-9,74	1,68

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

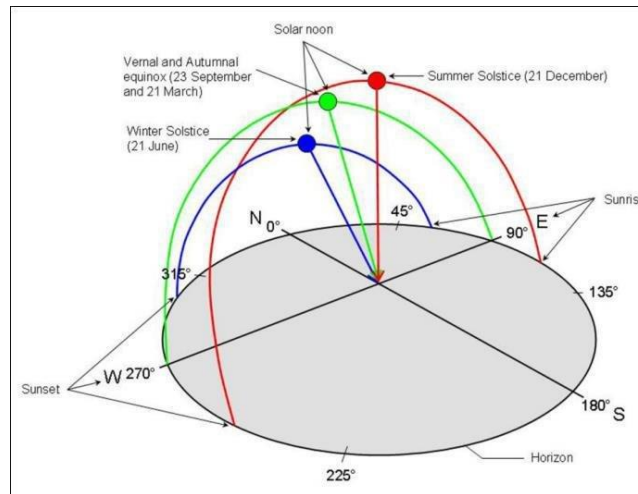
Al analizar la tabla, se puede apreciar una tendencia en los resultados donde para valores con mayor inclinación se obtuvieron mayores valores de potencia, del orden promedio del 4.9%, mientras que con el ángulo de 20° de obtuvo una pérdida promedio del -5.9% de la potencia.

Por otro lado, si solo comparamos los valores de orientación donde obtuvimos las mayores potencias, obtenemos la **Tabla 2**. El objetivo de esto es minimizar las variaciones por la hora da 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.

Medición	4/5/2022	11/5/2022	29/6/2022	31/8/2022
Orientación	N+20E	N+20W	N+20E	N+20W
40° N	4,88	5,03	8,79	3,05
30° N	0	0	0	0
20° N	-6,17	-7,11	-9,74	-4,04

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

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).

Adicionalmente si se compara con una medición parcial realizada en diciembre del año anterior que figura en la **Tabla 3**, se puede observar que, como se mencionó anteriormente, durante este ensayo, un ángulo menor presenta un incremento en la potencia generada por el panel del orden de entre el 3% al 4%, mientras que para un ángulo de 40°, se perdió una eficiencia del 32%.

Orientación	20/12/2021
40° N	-32,6
30° N	0
20° N	3,64

**Tabla 3.** Valores porcentuales de potencia en relación a la medición a 30° para un ensayo en verano.

Cabe aclarar que como es una sola medición y no se puede garantizar las condiciones en las que se realizó, como tampoco la alineación del panel con los rayos incidentes, por lo cual, de esta, solo es posible obtener una tendencia cualitativa.

### Conclusiones:

Con los valores presentados se puede apreciar la existencia de una variación de eficiencia significativa para los diferentes ángulos de inclinación a lo largo del año. Para poder encontrar los momentos óptimos para la modificación de los ángulos para obtener la mayor ganancia, se deberán realizar mediciones en los meses restantes para tener todos los datos necesarios para el análisis completo.

### 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.