



Identificación del Trabajo	
Área prioritaria:	Energía
Categoría:	Alumno
Facultad Regional:	Reconquista

# Influencia de la temperatura en el rendimiento de paneles fotovoltaicos en la generación de energía.

## Influence of Temperature on the Performance of Photovoltaic Panels in Energy Generation.

Presentación 30/08/2024

Andrés Gabriel López Nicola  
Facultad Regional Reconquista – UTN (Calle 44 n° 1000, Reconquista – Santa Fe)  
andres15.-@hotmail.com

Matías Osmar Corgnali Puente  
Facultad Regional Reconquista – UTN (Calle 44 n° 1000, Reconquista – Santa Fe)  
mcorgnali1222@comunidad.frrq.utn.edu.ar

### Resumen

El presente trabajo consiste en analizar como varía el rendimiento (generación de energía eléctrica) de paneles fotovoltaicos de tecnología policristalina en función a la temperatura ambiente, o en condiciones de días de calor cálido respecto a días considerados meteorológicamente como de “olas de calor”. Para realizar dicha comparación se emplearon datos de captación de Radiación Solar Global, obtenidos de una estación meteorológica ubicada en el predio de la facultad, y datos de generación de energía eléctrica, por parte de un grupo de 4 paneles FV policristalinos de 270W, mostrados analítica y gráficamente por medio de un inversor On-Grid (con conexión a Red). A la vez se han tomado datos de temperatura en la superficie del panel FV, para el día de ola de calor mediante una pistola termográfica, para poder determinar de manera analítica y en base a su temperatura promedio la disminución de generación de energía el emplear en la expresión teórica del cálculo de generación de energía el factor de disminución porcentual por °C dado por el fabricante bajo el concepto de características TONC (Temperatura de Operación Nominal de la Célula). De esta forma poder comparar también este último valor dado, por las características del fabricante, con el valor de energía indicado por el inversor. Los días en estudio fueron dos; uno parcialmente nublado y con ola de calor y el otro mayormente despejado y de condición cálida, siendo sus fechas el 08/02 y 21/08 del corriente año respectivamente.

**Palabras clave:** Efecto de la temperatura, Generación de energía solar Fotovoltaica, Pérdida de rendimiento fotovoltaico.

### Abstract

This study analyzes how the performance (electricity generation) of polycrystalline photovoltaic panels varies according to ambient temperature, specifically comparing warm days to those classified meteorologically as "heat wave" days. To conduct this comparison, data on Global Solar Radiation capture was obtained from a weather station located on the faculty's premises, along with electricity generation data from a group of four 270W polycrystalline photovoltaic panels, presented both analytically and graphically through an On-Grid inverter (connected to the grid). Additionally, temperature data on the surface of the photovoltaic panel was collected on the heat wave day using a thermal imaging gun to analytically determine, based on the average temperature, the decrease in energy generation. This was done by employing the percentage reduction factor per °C provided by the manufacturer in the theoretical expression for energy generation, under the concept of NOMC (Nominal Operating Cell Temperature) specifications given by the manufacturer. This allows for a comparison of this last value provided by the manufacturer with the energy value indicated by the inverter. The days studied were two: one partly cloudy with a heat wave and the other mostly clear and warm, occurring on 02/08 and 08/21 of the current year, respectively.

**Keywords:** Effect of temperature, Generation of photovoltaic solar energy, Loss of photovoltaic performance.

## 1. Introducción

En el predio de la Facultad Regional Reconquista (FRRq) se encuentra una estación meteorológica PEGASUS Modelo EP0304 N° 3704, esta estación permite medir, almacenar y visualizar en tiempo real información ambiental. Su alimentación es por batería y panel solar, todo integrado en su exclusivo diseño. La tecnología GSM incorporada transmite los datos registrados por cada sensor vía 2G y 3G a la nube para ser visualizados en tiempo real desde una computadora o a través de la aplicación PEGASUS MOBILE. Esta estación provee los datos de Radiación solar, más específicamente la Irradiancia (potencia lumínica), entre otra información como ser la temperatura ambiente y velocidad del viento, donde ambos datos son los empleados para elaborar el presente trabajo.

Toda la información obtenida es empleada luego para comparar con el valor de generación de energía diaria por un sistema fotovoltaico, integrado por 4 paneles FV en serie de la marca Jinko 260-280 Eagle 60 de 270Wp policristalinos y un inversor On-grid ABB, conectado a la Red de la EPESF, bajo el Programa ERA, inscripto como usuario generador. De esta forma se tiene la diferencia entre la energía o radiación solar recibida por los paneles fotovoltaicos (dado por medio de la estación meteorológica) y la generada o inyectada a la Red, la cual es obtenida vía wifi por el inversor.

Además. Se ha empleado una cámara o pistola termográfica para tomar datos o registros de la temperatura de la superficie del panel FV y obtener de esta manera su valor promedio para el día de ola de calor como lo fue el 08/02.

De esta manera el objetivo de este trabajo es averiguar la influencia que tiene la temperatura ambiente sobre la generación de energía eléctrica en paneles FV policristalinos respecto a la energía total captada (radiación global), como también poder comparar analíticamente el valor arrojado por el inversor con el valor que resulta de la expresión que contempla la disminución de generación de energía en base a la pérdida de energía porcentual por cada °C de aumento, coeficiente dado por el fabricante, en función al valor de aumento de temperatura, de la superficie del panel FV, por encima de 25°C (temperatura de ensayo).

Los paneles fotovoltaicos y la estación meteorológica se encuentran ubicados en el predio de la UTN-FRRq, con una ubicación geográfica de 29°08'40"S 59°38'38"O, de Latitud y Longitud respectivamente de la ciudad de Reconquista provincia de Santa Fe.

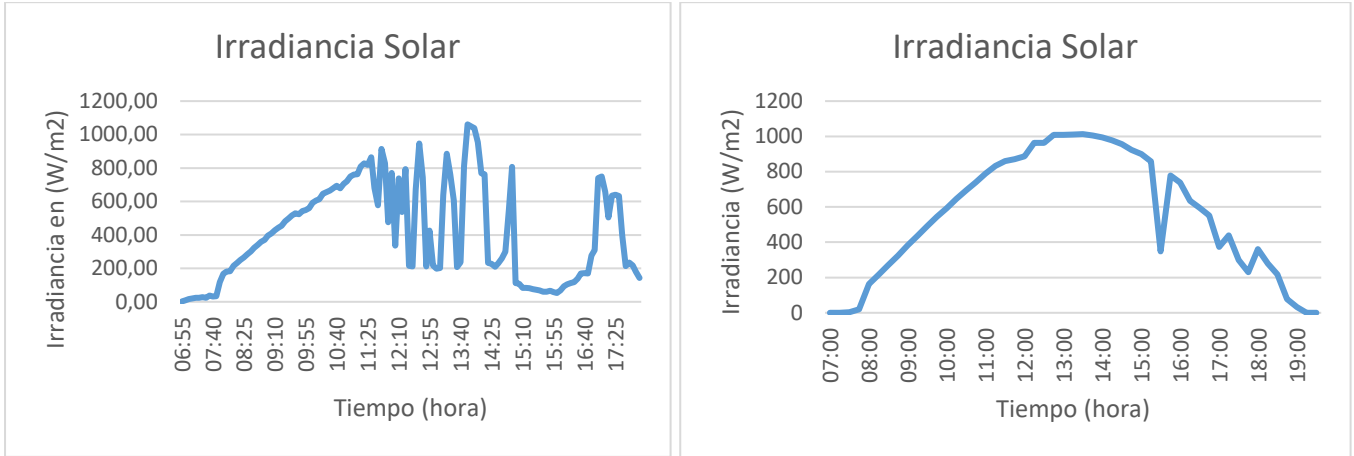
## 2. Metodología

Los estudios se realizaron para un intervalo horario entre las 7h y las 19h en los días 08/02 y 21/02 y los datos de potencia (irradiancia) obtenidos cada 5 minutos al igual que los datos de temperatura ambiente se guardaron en una planilla Excel para su procesamiento estos dos tipos de datos son obtenidos de la estación meteorológica PEGASUS MOBILE presentada en la figura 1.



**Figura 1.** Estación Meteorológica PEGASUS, Modelo EP0304 N° 3704.

Los datos mencionados son volcados a una planilla Excel y representados gráficamente, como se muestran en las figuras 2 y 3 para los datos de Irradiancia ( $W/m^2$ ) o potencia lumínica en los días 08/02 y 21/02 respectivamente.



**Figura 2 y 3.** Datos de Irradiancia obtenidos de la estación Meteorológica en el día 08/02 y 21/02 respectivamente. En primer lugar, se calcula el área bajo la curva utilizando la sumatoria de los trapecios como se muestra en la expresión (1):

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (t_{i+1} - t_i)(p_{i+1} + p_i) \quad (1)$$

En la cual, E es la energía en Wh, n la cantidad de datos,  $t_i$  el tiempo en el punto i, y  $p_i$  la potencia en el mismo punto. Debido a que los datos se registran cada 5 minutos los intervalos de tiempo son constantes durante todo el día, esto significa que  $(t_{i+1}-t_i)=5$  minutos, la expresión de la energía total diaria (irradiación) queda simplificada de la siguiente forma (2):

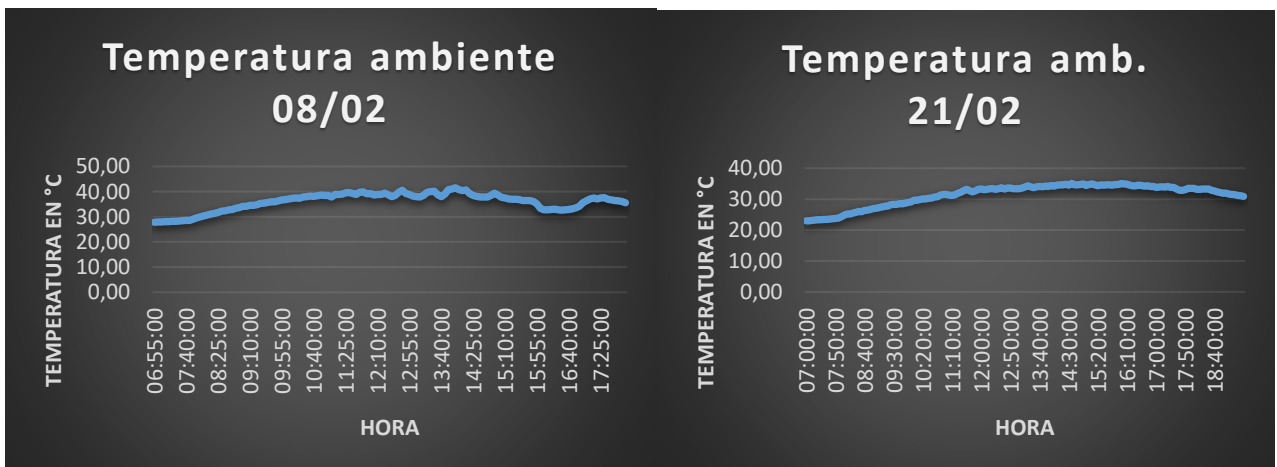
$$E = \frac{5}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (p_{i+1} + p_i) \quad (2)$$

Los valores arrojados por el método de los trapecios, para ambos días, son mostrados en la Tabla 1 siguiente.

Día	Trapecios, (Wh)
08/02/2024	4574,2
21/02/2024	7075,75

**Tabla 1.** Valores de energía (Wh) por cada día y función.

En la figura 4 a) y b) siguiente se observa la gráfica de valores de temperatura ambiente, también obtenidos de la estación meteorológica, cada 5 minutos para los días 08/02 y 21/02 en un intervalo horario de las 7h a 18h.



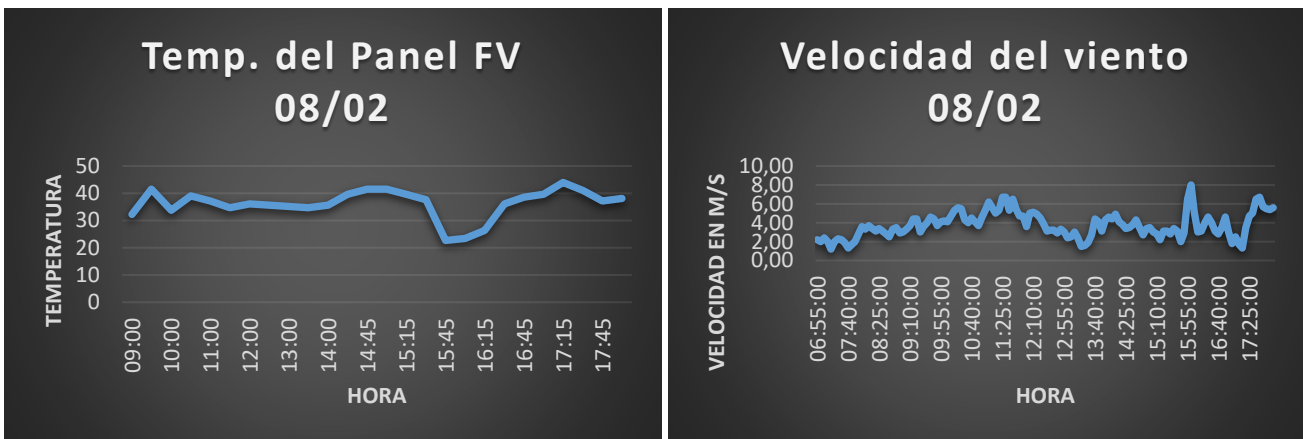
**Figura 4.** Temperatura ambiente en °C; a) y b) para los días 08/02 y 21/02 respectivamente.

- Temperatura ambiente promedio para el día 08/02: **35,98 °C**.
- Temperatura ambiente promedio para el día 21/02: **31,31 °C**.

A continuación, se muestra una gráfica (figura 6) con los valores de temperatura sobre la superficie del panel dados para el día con condiciones de ola de calor como lo fue el día 08/02 que es objeto de estudio, y los cuales fueron obtenidos con una cámara termográfica (Pistola) Fluke 62 Max (Termómetro Infrarrojo) con intervalo de medición de -30°C a 500 °C, ver figura 5 siguiente, y en la figura 7 la gráfica de velocidad del viento con los datos dados por la estación meteorológica descrita anteriormente.



**Figura 5.** Pistola Termográfica Fluke 62 Max (-30°C a 500°C)



**Figura 6 y 7.** Temperatura en la superficie del Panel Solar fijo en °C y Velocidad del viento para el día 08/02.

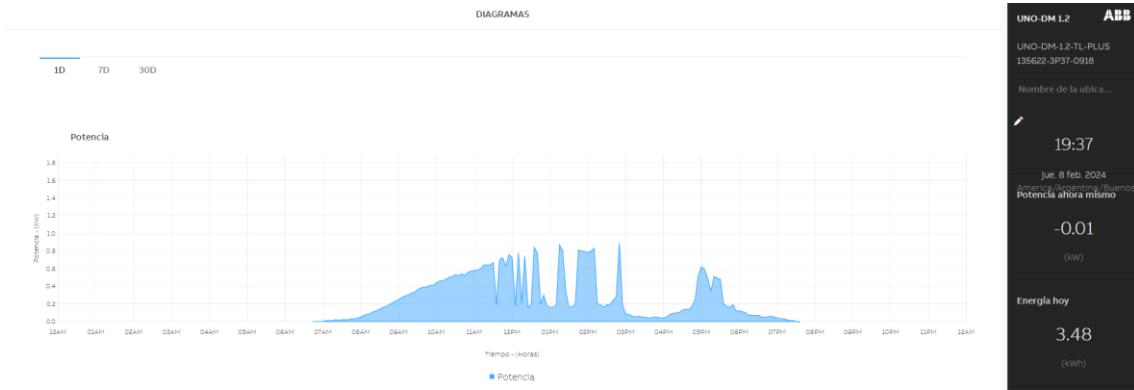
- Temperatura promedio de la superficie del panel FV = 36,26°C
- Velocidad promedio: 3,9 m/s = 14,04 km/h.

De la tabla 2 siguiente se puede observar el valor de HSP (Hora Solar Pico) que fueron datos obtenidos en cinco (5) ciudades de la Provincia de Santa Fe, entre ellas la ciudad de Reconquista mostrada junto con la de Tostado;

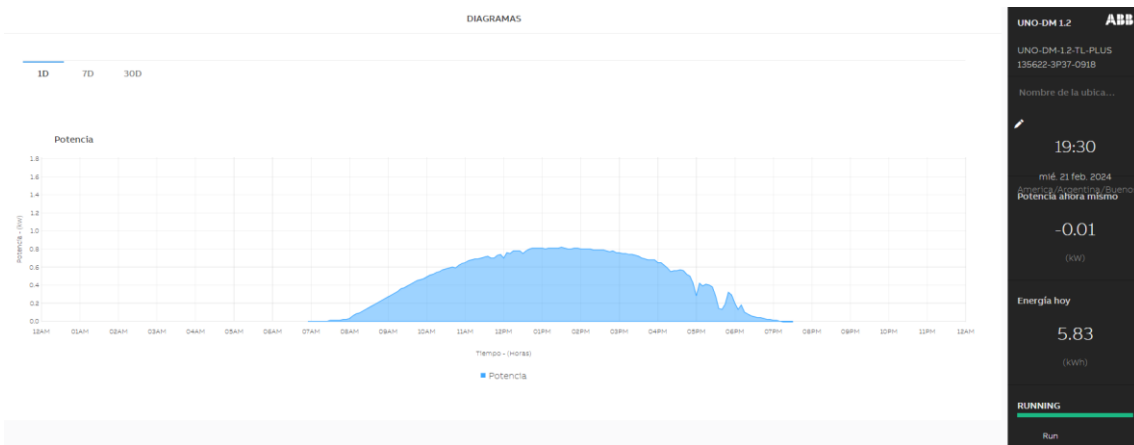
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio parcial	Promedio Anual
<b>Tostado</b>	Medida			5,47	4,49	2,8	2,46	3,27	3,58	3,68	
	NASA			4,99	3,83	3,2	2,62	3,02	3,94	3,6	4,89
<b>Reconquista</b>	Medida		5,86	5,63	4,79	3,14	2,71	3,08	3,43	4,09	
	NASA		5,99	5,08	3,81	3,27	2,65	3,04	3,9	3,96	4,85

**Tabla 2.** Valores de HSP obtenidas por la Red Solarimétrica de estudio entre la FIQ-UNL y el CONICET Santa Fe comparados con los valores obtenidos por la NASA (2015).

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas del inversor (figuras 8 y 9) en lo que respecta a energía eléctrica generada y entregada a la red para los dos días de estudio, 08/02 y 21/02 respectivamente.



**Figura 8.** Captura de pantalla donde se observa la gráfica, dado por el inversor, para el día 08/02.



**Figura 9.** Captura de pantalla donde se observa la gráfica, dado por el inversor, para el día 21/02.

### 3. Resultados

De la tabla 2 anterior se puede calcular la energía teórica que generaría el sistema fotovoltaico integrado por 4 paneles de 270W, mediante la expresión (1) siguiente, donde; PR un porcentaje considerado de 98% de generación del panel en su estado nuevo (dado por el fabricante) y HSP es el valor de la hora solar pico para el mes de Febrero (mes de estudio) dado por la FIQ-UNL.

$$Energía\ diaria\ (STC) = PR \times Potencia\ Instalada \times HSP = 0,98 \times 4 \times 270W \times 5,86h = 6202,22Wh/día \quad [1]$$

Además, el fabricante da las características del panel en condiciones STC (Standar Test Conditions) para una Irradiancia de 1000W/m<sup>2</sup> y Temperatura de la célula de 25°C y AM (Masa de Aire) 1,5. Ahora bien también da como valor el porcentaje de pérdida en generación por cada °C por encima de ese valor de temperatura de la célula y que es de k = -0,39%/°C y que forma parte de las características TONC (Temperatura de Operación Nominal de la Célula). De esta manera se pasa a calcular el nuevo valor de potencia (expresión 2) bajo el efecto del aumento de temperatura superficial para el día 08/02;

$$Pot_{(TONC)} = P_{max(STC)} \times [1 + (T_{prom.} - 25°C) \times K] = 270W \times [1 + (36,26°C - 25°C) \times (-0,39\%/°C) / 100] = 258,14W \quad [2]$$

Si ahora usamos este valor dado, al considerar el efecto de la temperatura, en la expresión (1) se obtiene el valor de energía generada:

$$E.\ diaria\ (TONC) = PR \times Potencia\ Instalada \times HSP \times 0,8 = 0,98 \times 4 \times 258,14W \times 5,86h \times 0,8 = 4743,82Wh/día \quad [1]$$

El valor de 0,8 corresponde al 80% de los 1000W/m<sup>2</sup> de Irradiancia de laboratorio, ya que las características TONC consideran un valor de Irradiancia de 800W/m<sup>2</sup> ya que el valor de HSP es considerado a 1000W/m<sup>2</sup>.

Se puede apreciar, mediante capturas de pantalla, que los valores de energía arrojados por el inversor son: en la figura 8 de 3,48kWh o 3480Wh para el día 08/02 (de condición parcialmente nublado) y en la figura 9 un valor de energía generada de 5,83kWh o 5830Wh para el día 21/02 (mayormente despejado).

## 4. Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede concluir comparando en primer lugar la diferencia de energía generada, indicada por el inversor para cada día de estudio, y la energía captada por la estación meteorológica que:

- Para el día 08/02 el inversor indico una generación de energía de 3,48kWh o 3480Wh siendo un 23,91% menor respecto a la energía captada con un valor de 4574,2Wh.
- Para el día 21/02 el inversor da un valor de energía generada de 5,83kWh o 5830Wh con un 17,61% menor respecto a la energía captada, donde arrojó un valor de 7075,75Wh.

Se concluye que los paneles fotovoltaicos de tecnología policristalina se ven afectados por las condiciones climatológicas circundante, especialmente por la temperatura ambiente, como se aprecia en la diferencia entre la energía captada y la generada, en los dos días de estudio y sobre todo en aquellos días clasificados meteorológicamente como con “ola de calor”, como se presentó el día 08/02 del corriente año, donde la diferencia se acentúa más.

A la vez se aprecia que para el día 08/02, el valor arrojado por la expresión (1) sobre el calculo de energía eléctrica, para el grupo de paneles FV, mediante el concepto del coeficiente de reducción de perdida porcentual por °C (característica TONC del fabricante) y de la temperatura promedio de la superficie del panel FV, un valor que difiere del obtenido por el cálculo teórico en condiciones STC de 23,51% y que es muy cercano a la diferencia entre lo que generó el sistema y la energía captada con un valor de 23,91%.

También se puede concluir en base a la figura 7 sobre velocidades del viento, también dados por la estación meteorológica, que en los intervalos de tiempo donde el viento alcanza mayor velocidad la temperatura del panel FV disminuye (ver figura 6), debido al conocido fenómeno de extracción de calor por convección, como por ejemplo en el intervalo cercano a las 16h.

## Referencias bibliográficas

Miquel. Casa, Mónica. Barrio. (2012). Instalaciones solares fotovoltaicas, Editorial Marcombo.

Grupo de Energías No-Convencionales (GENOC), Facultad de Ingeniería Química (UNL), Instituto de Física del Litoral (CONICET-UNL). (2015). “Estado de la Red Solarimétrica de la provincia de Santa Fe”, Informe Técnico de Avance.

Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaio, Mario Orestes Aguirre González. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework.

Cepeda, J., Sierra, A. Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. Facultad de Ingeniería Mecánica Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

TECMES. Estación meteorológica Pegasus. <https://www.tecmes.com/estacion-pegasus/>