

Comparación del efecto de la limpieza manual o por lluvia sobre la generación fotovoltaica de paneles solares.

Comparison of the effect of manual or rain cleaning on the photovoltaic generation of solar panels.

Presentación: 26/10/2023

Esteban Ceré

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco
esteban.cere@gmail.com

Mateo Cignetti

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco
mateo@cignetti.ar

Mauricio Lazo

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco
lazomauri@gmail.com

Thore Kleibrink

Hamburg University of Technology, Alemania
mail@thorekleibrink.de

Resumen

Desde 2015, en la UTN Facultad Regional San Francisco se encuentra emplazada una instalación solar fotovoltaica piloto de 2,8 kW de potencia. En 2022, se anexó un sistema de monitoreo que permite obtener la irradiación recibida y la energía generada por la instalación. Considerando las características de la ubicación de la instalación y la disponibilidad de datos, se estudió el efecto de la limpieza sobre paneles solares en la generación de energía. Se realizaron, para casos de limpieza manual y natural por lluvia, análisis de correlación entre potencia e irradiación, contabilización de energía e irradiación y comparación de casos puntuales. Se concluyó que una limpieza manual influye en mayor medida que una por lluvia. También que es relevante monitorear las instalaciones solares fotovoltaicas con el fin de obtener una mayor producción de energía. Para este trabajo fue importante la interacción entre docentes, estudiantes y graduados de la facultad.

Palabras clave: Suciedad, paneles fotovoltaicos, energía fotovoltaica.

Abstract

Since 2015, a pilot solar photovoltaic installation with 2.8 kW power has been located at the UTN San Francisco Regional Faculty. In 2022, a monitoring system was added that allows obtaining the irradiation received and the energy generated by the facility. Considering the characteristics of the installation location and the availability of data, the effect of cleaning solar panels on energy generation was studied. For cases of manual and natural cleaning due to rain, correlation analysis between power and irradiation, energy and irradiation accounting and comparison of specific cases were carried out. It was concluded that manual cleaning has a greater influence than rain cleaning. It is also relevant to monitor photovoltaic solar installations in order to obtain greater energy production. For this work, the interaction between teachers, students and graduates of the faculty was important.

Keywords: Dirt, photovoltaic panels, photovoltaic energy

Introducción

Desde 2015, en la UTN Facultad Regional San Francisco se encuentra emplazada una instalación solar fotovoltaica piloto de 2,8 kW de potencia. La misma cuenta con doce paneles de la marca Brandoni® (Brandoni Paneles Solares, 2012) que ocupan una superficie aproximada de 20 m² y un inversor de 2,8 kW de la marca AEG® (AEG Power Solutions GmbH, 2012).

Dichos paneles, se encuentran instalados en una terraza de la Facultad orientados con un desvío de 10° hacia el este respecto al norte geográfico, desvío que se debe a que el emplazamiento de los paneles se adapta a la orientación de la edificación para optimizar su integración arquitectónica; el ángulo de inclinación es de 27° (Szwarc, Rocchia, & Ferreyra, 2019). La selección del lugar y la disposición responde a diversos factores, entre los que cabe mencionar la minimización de sombras, caída de tensión, vientos, una mayor facilidad de acceso, etc. (Ferreyra, Sarmiento, Szwarc, & Rocchia, 2018).

La zona en la que se encuentra la instalación (San Francisco, Córdoba) es relativamente húmeda, aunque los vientos que soplan del norte traen tierra y sal proveniente de la laguna de Mar Chiquita (El Periódico, 2023). Además, la Facultad está rodeada de un gran predio descampado, algunas edificaciones aledañas, pasturas y calles de tierra; esto contribuye a la acumulación de suciedad en los paneles. Tampoco es inusual la presencia de tormentas de tierra cuando la velocidad de los vientos es alta (Radiocanal, 2023). Por otro lado, el mantenimiento que se realiza sobre los mismos en cuanto a limpieza es casi nulo, ya que habitualmente se espera que las lluvias produzcan el efecto de limpieza.

La suciedad acumulada sobre los paneles, como se evidencia en otros artículos investigados para la realización de esta publicación, afecta negativamente a la generación y eficiencia de los paneles solares ya que obstruye total o parcialmente la energía proveniente del sol (Sulaiman, Singh, Mokhtar, & Bou-Rabee, 2014) (Karmouch & Hor, 2017) (Darwish, Kazem, Sopian, Alghoul, & Chaichan, 2013).

En 2022 se instaló un sistema de monitoreo marca Fronius® para la instalación fotovoltaica, que permite obtener datos de irradiación, temperatura de paneles y ambiente, velocidad del viento y energía generada. Los sensores se conectan a un dispositivo de adquisición de datos llamado Sensor Box® y luego son enviados a un segundo dispositivo, llamado Data Manager® que se encarga de procesar y subir los datos a la nube.

Teniendo en cuenta las características de la instalación y su ubicación, se realizó una investigación cuyo objetivo fue el de comparar el efecto sobre la generación que producen una limpieza manual y una natural por lluvia, para determinar si es de importancia el monitoreo del estado de la instalación a fin de programar una limpieza manual, o si con las lluvias es suficiente.

Metodología

Al disponer de datos de irradiación, generación de energía y potencia provistos por el sistema de monitoreo, se propuso investigar la forma en que una limpieza manual, utilizando una mopa mojada en agua corriente para remover la suciedad depositada sobre los paneles, y una lluvia afectan la generación. Para esto, se tomó en cuenta la última lluvia de un milimetro considerable (105 mm) (Diario San Francisco, 2023) en la ciudad y se realizó también una limpieza de forma manual para comparar los datos de irradiación, potencia y energía en días anteriores y posteriores a estos eventos. La lluvia a la cual se hace referencia se produjo el día 22 de marzo de 2023 y la limpieza manual se realizó el día 17 de abril de 2023.

Para esta investigación, el primer paso consistió en generar gráficos de dispersión y rectas de regresión que permitan realizar un análisis de correlación a partir de los datos de irradiación y potencia que registraron los equipos mencionados anteriormente. Los datos analizados corresponden a la semana previa y posterior a los días de lluvia y limpieza manual, omitiendo el día en el cual se produjeron dichos eventos debido a la duración de estos.

En la figuras 1 y 2 se muestran las gráficas de correlación entre irradiación y potencia correspondientes a la semana previa y posterior a la lluvia, mientras que en las figuras 3 y 4 las gráficas muestran el mismo análisis, pero respecto a la limpieza. Al analizar las gráficas se puede confirmar que existe una fuerte relación lineal entre la irradiación y la potencia generada por el sistema fotovoltaico.

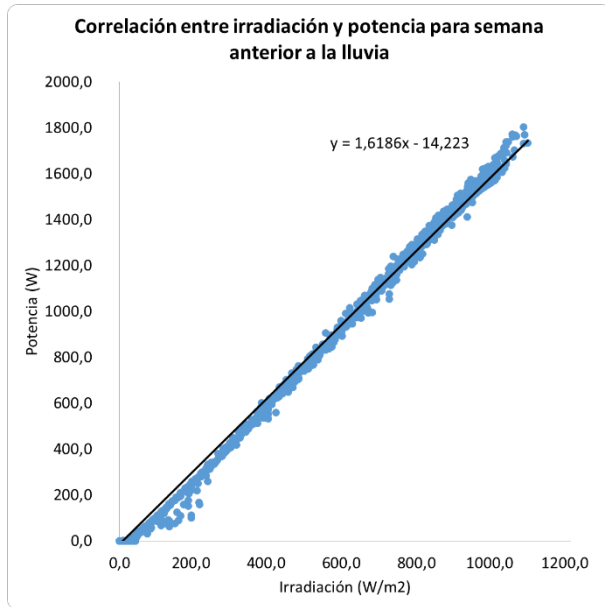


Figura 1 - Gráfico de dispersión entre irradiación y potencia para semana anterior a la lluvia.

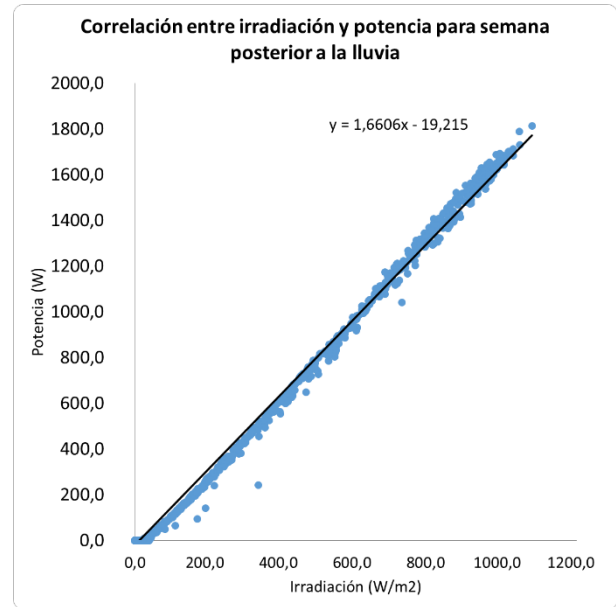


Figura 2 - Gráfico de dispersión entre irradiación y potencia para semana posterior a la lluvia.

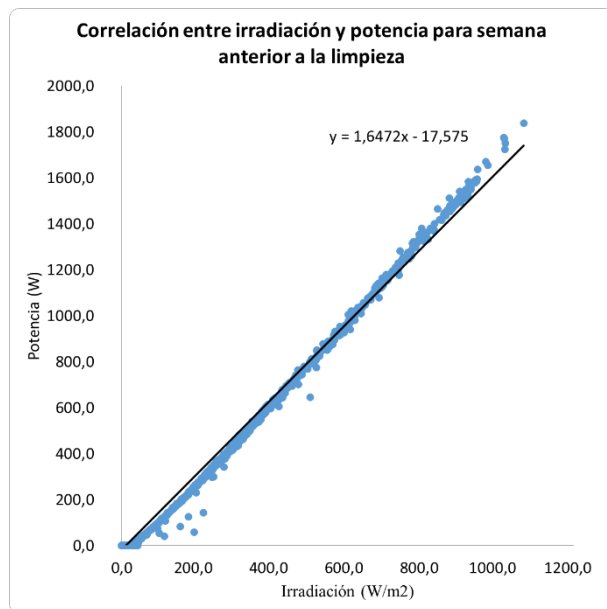


Figura 3 - Gráfico de dispersión entre irradiación y potencia para semana anterior a la limpieza.

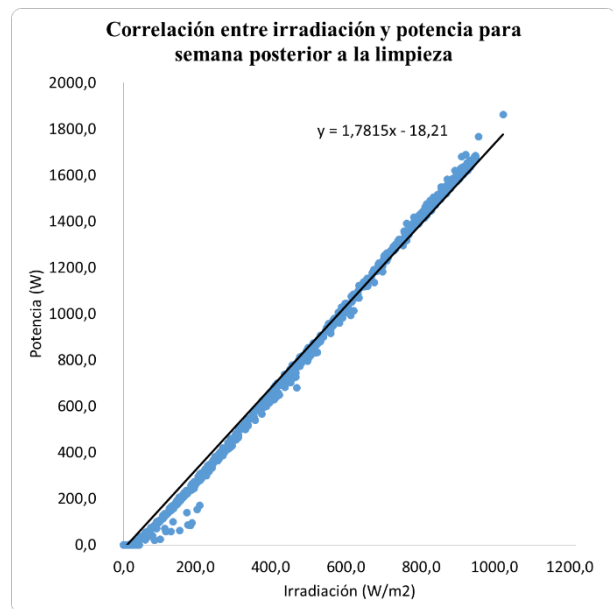


Figura 4 - Gráfico de dispersión entre irradiación y potencia para semana posterior a la limpieza.

El segundo paso consistió en contabilizar la irradiación recibida y la energía generada durante cada día de las semanas previas y posteriores a la lluvia y a la limpieza manual, para evaluar si existe una diferencia en la generación y si esta puede ser atribuida a la suciedad depositada sobre los paneles. En las tablas 1 y 2 se muestra de forma resumida estos datos.

Semana anterior a la lluvia

Semana posterior a la lluvia

Día	Energía diaria generada W.h	Irradiación diaria recibida W/m ²	Día	Energía diaria generada W.h	Irradiación diaria recibida W/m ²
15/3/2023	10100,00	78218,01	23/3/2023	1299,00	13323,02
16/3/2023	9637,00	74621,26	24/3/2023	2416,00	22643,02
17/3/2023	10505,00	81282,55	25/3/2023	9622,00	72576,93
18/3/2023	10514,00	79696,86	26/3/2023	9400,00	70241,32
19/3/2023	10098,00	77220,15	27/3/2023	6604,00	51502,26
20/3/2023	9928,00	76024,04	28/3/2023	10360,00	75555,37
21/3/2023	9679,00	73086,75	29/3/2023	6673,00	52640,07

Tabla 1 – Contabilización de la energía generada y de la irradiación para los días de la semana previa y posterior al día de la lluvia.

Semana anterior a la limpieza			Semana posterior a la limpieza		
Día	Energía diaria generada W.h	Irradiación diaria recibida W/m ²	Día	Energía diaria generada W.h	Irradiación diaria recibida W/m ²
10/4/2023	10560,00	77913,86	18/4/2023	10786,00	74466,73
11/4/2023	8018,00	60882,40	19/4/2023	10737,00	74475,46
12/4/2023	5562,00	44330,90	20/4/2023	11073,00	75545,35
13/4/2023	5002,00	39603,34	21/4/2023	8581,00	60257,83
14/4/2023	3919,00	32113,22	22/4/2023	3441,00	27971,85
15/4/2023	5680,00	44629,14	23/4/2023	1269,00	12728,27
16/4/2023	1840,00	17691,14	24/4/2023	1989,00	17715,69

Tabla 2 – Contabilización de la energía generada y de la irradiación para los días de la semana previa y posterior al día de la limpieza.

El tercer paso del análisis presentado consistió en estudiar casos puntuales. En el mismo se buscaron puntos de medición donde la irradiación sea igual en un día de la semana previa que en un día de la semana posterior, respecto a ambos casos de estudio (día de limpieza manual y de lluvia), para analizar en igualdad de condiciones la potencia generada. En la tabla 3 se muestran, a modo de ejemplo, dos puntos de coincidencia, donde en el primero se ve que para la misma irradiación la potencia medida fue mayor, mientras que en el segundo fue menor; esto es respecto a la lluvia. En la tabla 4 se muestra el mismo análisis, pero respecto al día de la limpieza manual.

Semana anterior a la lluvia			Semana posterior a la lluvia		
Fecha y hora	Irradiación W/m ²	Potencia W	Fecha y hora	Irradiación W/m ²	Potencia W
17/3/2023 9:40	549,00	831,13	3/27/23 9:45	549,00	888,87
15/3/2023 17:25	164,00	209,73	3/29/23 15:30	164,00	195,33

Tabla 3: Puntos ejemplo, en las semanas previa y posterior a la lluvia, de coincidencias de irradiación y potencia medida en ambos casos.

Semana anterior a la limpieza			Semana posterior a la limpieza		
Fecha y hora	Irradiación W/m ²	Potencia W	Fecha y hora	Irradiación W/m ²	Potencia W
4/10/23 11:35	872,00	1478,48	4/18/23 14:15	872,00	1562,14
4/11/23 18:05	82,00	77,59	4/20/23 8:05	82,00	19,05

Tabla 4: Puntos ejemplo, en las semanas previa y posterior a la limpieza, de coincidencias de irradiación y potencia medida en ambos casos.

Resultados y discusión

Con los datos obtenidos del primer paso del análisis realizado se obtienen las rectas de regresión lineal entre la irradiación y la potencia para las semanas anteriores y posteriores a la lluvia:

$$y = 1,6186 \cdot x - 14,223 \text{ (Donde } y = \text{potencia; } x = \text{irradiación; } R^2=0,9975) \quad (1)$$

$$y = 1,6606 \cdot x - 19,215 \text{ (Donde } y = \text{potencia; } x = \text{irradiación; } R^2=0,9957) \quad (2)$$

Con estas rectas se calcula la irradiación necesaria para el inicio de la generación y la potencia obtenida para una irradiación dada. Estos datos se muestran en la tabla 5.

Datos de entrada	Semana anterior a la lluvia	Semana posterior a la lluvia
y = 0 W (inicio de generación)	8,787 W/m ²	11,57 W/m ²
x = 524,4171 W/m ²	834,598 W	851,632 W

Tabla 5: Resultados del análisis de correlación para la limpieza natural o por lluvia

Se observa que la irradiación necesaria para la potencia cero, es decir, para el momento en que el inversor comienza a generar, es mayor luego de la lluvia. Se detecta que la potencia obtenida utilizando la irradiación promedio (sólo valores mayores a 0 W/m²) de la semana anterior es mayor luego de la lluvia. En cuanto a la relación entre las potencias para las semanas posteriores y anteriores se tiene:

$$\text{Relación de potencia}_{\%} = \frac{\text{Potencia posterior}}{\text{Potencia anterior}} \cdot 100 = \frac{851,632 \text{ W}}{834,598 \text{ W}} \cdot 100 = 102,04 \% \quad (3)$$

De la ecuación 3 se percibe un aumento en potencia de un 2,4 % en la semana luego de la lluvia. A continuación, se muestra el mismo análisis, pero respecto a la limpieza:

$$y = 1,6474 \cdot x - 17,575 \text{ (Donde } y = \text{potencia; } x = \text{irradiación; } R^2=0,9946) \quad (4)$$

$$y = 1,7815 \cdot x - 18,2100 \text{ (Donde } y = \text{potencia; } x = \text{irradiación; } R^2=0,9958) \quad (5)$$

Datos de entrada	Semana anterior	Semana posterior
y = 0 W (inicio de generación)	10,669 W/m ²	10,220 W/m ²
x = 329,0083 W/m ²	524,367 W	567,918 W

Tabla 6: Resultados del análisis de correlación para la limpieza manual

En los datos obtenidos en la tabla 6 se puede observar que la irradiación necesaria para el inicio de generación es ligeramente menor luego de la limpieza manual. Así como también que la potencia obtenida utilizando la irradiación promedio (contabilizando solo los valores mayores a 0 W/m²) de la semana anterior es mayor luego de la limpieza manual. En cuanto a la relación entre las potencias para las semanas posteriores y anteriores se tiene:

$$\text{Relación de potencia}_{\%} = \frac{\text{Potencia posterior}}{\text{Potencia anterior}} \cdot 100 = \frac{567,918 \text{ W}}{524,367 \text{ W}} \cdot 100 = 108,30 \% \quad (6)$$

De la ecuación 6, se percibe un aumento en la potencia generada de un 8,30 %, para la semana luego de la limpieza.

Del segundo paso del análisis realizado se puede destacar que, para la semana anterior a la lluvia la generación fue de 70461,00 W.h con una irradiación recibida de 540149,62 W/m², mientras que para la semana posterior la instalación generó de 46374,00 W.h con una irradiación recibida de 358481,99 W/m². Por otro lado, la relación entre la energía generada y la irradiación recibida en la semana anterior a la lluvia es de 13,04 % (total energía generada semana anterior / total irradiación recibida semana

anterior). La relación correspondiente entre estas dos magnitudes para la semana posterior es de 12,94 %. Por lo tanto, se puede concluir que la lluvia no modificó en gran medida la generación de energía respecto a la irradiación recibida.

Para la semana anterior a la limpieza se tuvo una energía generada total de 40581,00 W.h con una irradiación total de 317164,00 W/m² dando una relación del 12,79 % (total energía generada semana anterior / total irradiación recibida semana anterior), mientras que para la semana posterior a la limpieza se tuvo 47876,0 W.h con una irradiación total de 343161,18 W/m² dando una relación del 13,95 %. Se puede observar que la limpieza modificó la generación de energía permitiendo obtener una mayor cantidad.

Del tercer punto del análisis realizado es importante destacar que, si bien hay puntos en los cuales bajo las mismas condiciones de irradiación la potencia generada es menor luego de la limpieza manual o de la lluvia, un análisis global de todos los puntos de coincidencia muestra que efectivamente la potencia medida posterior a los eventos analizados es mayor que la potencia medida anterior a estos eventos.

Conclusiones

Gracias a la instalación del sistema de monitoreo se pudo cuantificar el efecto de la remoción de la suciedad de los paneles solares fotovoltaicos, ya que se disponía de los datos o información necesaria para realizar dicho estudio, es decir, se pudieron obtener datos de la irradiación sobre los paneles solares, la potencia medida a la salida del inversor y la cantidad de energía generada. Se puede concluir que reviste una gran importancia el monitoreo o la supervisión de una instalación, más aun teniendo en cuenta la posibilidad de realizarlo remotamente, para programar una limpieza manual. Se obtuvieron modelos en base a un análisis de regresión para obtener datos de potencia generada e irradiación necesaria para el inicio de generación del inversor. Se pudo comprobar que una remoción manual de la suciedad de los paneles solares afecta en mayor medida a la generación de energía de la instalación que la que pueda realizarse naturalmente por lluvia.

Referencias bibliográficas

- AEG Power Solutions GmbH. (2012). Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions.
- Brandoni Paneles Solares. (2012). Módulo FV BRP6360064-XXX.
- Darwish, Z. A., Kazem, H. A., Sopian, K., Alghoul, M., & Chaichan, M. T. (2013). Impact of some environmental variables with dust on solar photovoltaic (PV) performance: review and research status. *International J of Energy and Environment*, 7(4), pp. 152-159.
- Diario San Francisco. (22 de marzo de 2023). *¿Cuánto llovió en San Francisco?* Obtenido de Diario San Francisco: <https://www.diariosanfrancisco.com.ar/cuanto-llovio-en-san-francisco/>
- El Periódico. (29 de agosto de 2023). *Sequía, viento, tierra y sal, un combo que causa trastornos respiratorios en San Francisco.* Obtenido de El Periódico: https://el-periodico.com.ar/local/sequia--viento--tierra-y-sal--un-combo-que-causa-trastornos-respiratorios-en-san-francisco-_a64ee1f23341c9d1147d84ee9
- Ferreira, D. M., Sarmiento, A. C., Szwarz, G. D., & Rocchia, N. J. (2018). Experiencia en la implementación, operación y divulgación de una instalación solar fotovoltaica piloto en Argentina. *"Tecnología y Ciencia"*, Año 16, Nro. 31, pp. 163-172, ISSN 1666-6917.
- Karmouch, R., & Hor, H. E. (2017). Solar cells performance reduction under the effect of dust in Jazan Region. *J. Fundam. Renew. Energy Appl*, 7(2), pp. 1-4.
- Radiocanal. (29 de agosto de 2023). *Llega la tormenta de Santa Rosa a Córdoba: a qué hora y de qué se trata.* Obtenido de Radiocanal: <https://www.radiocanal.com.ar/noticia/llega-la-tormenta-de-santa-rosa-a-cordoba-a-que-hora-y-de-que-se-trata-157003>
- Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M., & Bou-Rabee, M. A. (2014). Influence of dirt accumulation on performance of PV panels. *Energy Procedia*, 50, pp. 50-56.
- Szwarc, G. D., Rocchia, N. J., & Ferreira, D. M. (2019). Orientación de paneles fotovoltaicos y su incidencia sobre la energía inyectada a la red. *Jornadas de Ciencia y Tecnología 2019*, pp. 92-93.