

# Dispositivo indicador de limpieza de paneles fotovoltaicos por medición de deposición de partículas.

## Device for Indicating Photovoltaic Panel Cleaning by Measuring Particle Deposition.

Presentación: 09/08/2024

José Giménez  
Facultad Regional Reconquista – UTN  
gimenezjoseignacio@hotmail.com

Lucas Snaider  
Facultad Regional Reconquista – UTN  
lucassnaider96@gmail.com

Mario Ros  
Facultad Regional Reconquista – UTN  
marirossolar@gmail.com

### Resumen

Este trabajo trata sobre la pérdida de potencia instantánea que entrega un panel FV ante la presencia de deposición de partículas ambientales en su superficie y en un dispositivo capaz de censar la suciedad mediante un sensor óptico diseñado para detectar dichas partículas de polvo y así emitir una señal programada de aviso para su limpieza. El dispositivo propuesto consta de un diodo emisor de infrarrojos con un fototransistor, que se encuentran dispuestos diagonalmente, para que pueda detectar la luz reflejada del polvo en el aire. El sensor posee una salida analógica de voltaje lineal y proporcional a la cantidad de polvo detectado (densidad de polvo  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). La sensibilidad del sensor es de 0.5V por cada 0.1mg de polvo por metro cúbico.

**Palabras clave:** Irradiancia solar, Limpieza de paneles fotovoltaicos.

### Abstract

This work deals with the instantaneous power loss delivered by a PV panel in the presence of environmental particle deposition on its surface and a device capable of sensing dirt through an optical sensor designed to detect such dust particles and thus emit a programmed alert signal for cleaning. The proposed device consists of an infrared emitting diode with a phototransistor, which are arranged diagonally, so it can detect the light reflected from the dust in the air. The sensor has an analog voltage output that is linear and proportional to the amount of dust detected (dust density  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). The sensor's sensitivity is 0.5V for every 0.1mg of dust per cubic meter.

**Keywords:** Irradiance solar, Photovoltaic Panel Cleaning.

## Introducción

La célula fotovoltaica tradicional de silicio genera energía eléctrica a partir de la irradiancia captada, la cual se manifiesta a través del valor de corriente generada y presente esta como variable en el valor de potencia que entrega un panel fotovoltaico (Aparicio, 2015). Debido a una capa uniforme depositada en toda la superficie del panel, como ser una capa de polvo, disminuye la irradiancia que llega a la celda fotovoltaica y por consiguiente también disminuye la potencia instantánea generada.

Por tal motivo se plantea un dispositivo que sea capaz de censar la suciedad de los paneles y calcular la pérdida de energía que se produce, de esta manera se podrá monitorear la suciedad que poseen los paneles solares y tomar acciones correspondientes al nivel de mugre que se presente.

## Desarrollo

Unos de los elementos principales de una instalación fotovoltaica es el panel fotovoltaico, este se compone de células o celdas fotovoltaicas de silicio dopado (células tradicionales) tipo N y tipo P, comportándose como un diodo (figura 1). La parte o cara expuesta al Sol es la Tipo N, que es la que posee exceso de electrones libres y que son los que circulan para generar la corriente eléctrica cuando interaccionan con los fotones de la luz solar.

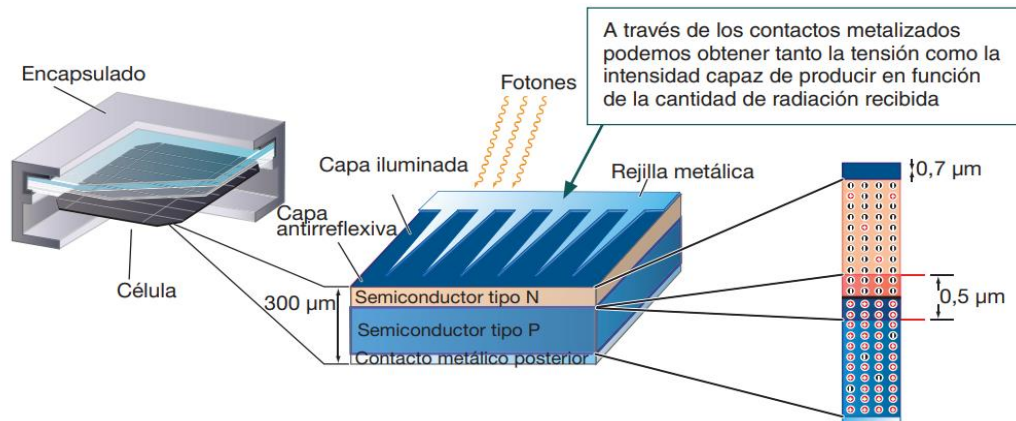


Figura 1, estructura de una célula fotovoltaica.

La célula fotovoltaica tradicional trabaja en el espectro de la luz visible más una porción del rango del ultravioleta (Meinel, A.B. y Meinel M.P., 1982), es decir, solamente capta la radiación que se encuentra en entre los 300nm y 700nm de longitud de onda. El funcionamiento de la célula fotovoltaica se caracteriza mediante la curva I-V (Corriente - Voltaje) en función de la irradiancia que recibe la célula (Alvarez, 2019), como se observa en la figura 2 siguiente:

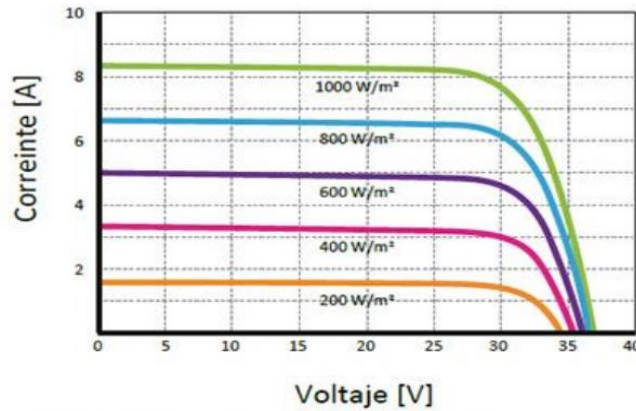


Figura 2, curvas características de los módulos FV en función a distintos valores de irradiancia y a una temperatura de 25°C.

De las curvas representadas en la figura 2 se aprecia como el valor de la corriente generada por un módulo fotovoltaico de 72 celdas depende del nivel de irradiancia recibida, donde se define a la irradiancia como la cantidad de energía radiante que llega a una superficie en un período de tiempo específico, es decir que la magnitud de la irradiancia depende de hora del día, del día en el año y de las condiciones climáticas locales.

En función a lo descrito, si un panel fotovoltaico posee una capa de suciedad, a la misma se la puede interpretar como una resistencia al paso de la radiación solar (Cepeda, J. y Sierra, A., 2017) y en base a la figura anterior si el valor de irradiancia se ve disminuido lo hará también el valor de corriente y por ende de la potencia instantánea generada. Para corroborar la hipótesis propuesta se tomó en estudio una instalación fotovoltaica fija conformada por 4 paneles de 270Wp de marca Jinko 260-280 Eagle 60 de celdas policristalinas, donde se observa dos paneles FV limpios y dos con dicha capa de suciedad para apreciar la diferencia en ambos estados, ver la figura 3 siguiente.



Figura 3, Instalación fotovoltaica con dos paneles limpios (izquierda) y dos con una capa de polvo (derecha).

En la imagen fotográfica de la figura 4 siguiente se observa el frente del inversor On-grid empleado para la instalación fotovoltaica fija en estudio:



Figura 4, Imagen del inversor correspondiente a la instalación FV.

Se ha efectuado a registrar el valor de potencia instantánea entregada por la instalación a las 12hs, antes de efectuar la limpieza, donde se aprecia que el valor de la potencia instantánea de entrada al inversor es de 826 [W], ver la imagen fotográfica de la figura 5 siguiente:



Figura 5 y 6, Imagen del valor de potencia instantánea de entrada del inversor correspondiente a la instalación con una capa de polvos y la otra en estado limpio respectivamente.

Luego se pasó a registrar el valor de potencia instantánea entregada por la instalación minutos después de efectuar la limpieza, cuyo valor fue de 871 [W], se aprecia dicho valor en la imagen fotográfica de la figura 6 anterior.

Lo que se propone es medir la suciedad es mediante un sensor de polvo compatible con la programación en C. El sensor por el que se optó es el Sharp's GP2Y1010AU0F, es un sensor óptico de calidad del aire diseñado para detectar partículas de polvo. Un diodo emisor de infrarrojos con un fototransistor están dispuestos diagonalmente en este dispositivo, para que pueda de esta manera detectar la luz reflejada del polvo en el aire.



Figura 7, sensor Sharp's GP2Y1010AU0F.

#### Especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Consumo de energía: 11 mA (máx. 20 mA)
- Salida de voltaje analógico proporcional a la concentración de polvo
- Rango de detección (densidad de polvo:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (typ.): 0-600

- Sensibilidad: 0.5V / (0.1mg/m<sup>3</sup>)
- Tensión de salida sin polvo: típica 0,9 V
- Temperatura de funcionamiento: -10 a +65 ° C
- Dimensiones (mm): 46x30x17.6 mm
- Peso: 16 gramos

La señal medida por este sensor es procesada por una estación meteorológica fabricada en el Grupo de Diseño mecánico de FRRQ-UTN, en base a ESP32 la cual funciona también como controlador central, figura 8.

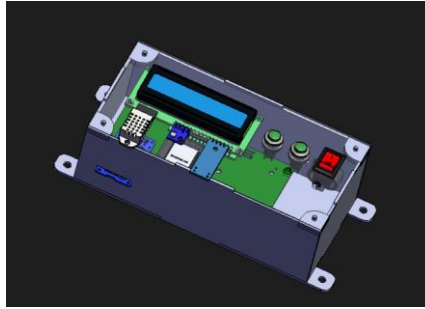


Figura 8, modelo de prototipo de estación meteorológica para paneles.

Con el sensor propuesto se realizaron las siguientes pruebas:

1. El sensor se prueba en un ambiente controlado como en una oficina (interior):  
Se puede apreciar, en la figura 9, que la densidad de partículas en el interior con luz de oficina fue de un promedio de 0,03 mg/m<sup>3</sup>.

```

- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 43774.87
Raw Signal Value (0-1023): 79.00 - Voltage: 0.39 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 42017.06
Raw Signal Value (0-1023): 62.00 - Voltage: 0.30 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 32056.13
Raw Signal Value (0-1023): 86.00 - Voltage: 0.42 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 46118.62
Raw Signal Value (0-1023): 85.00 - Voltage: 0.42 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 45532.69
Raw Signal Value (0-1023): 68.00 - Voltage: 0.33 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 35571.75
Raw Signal Value (0-1023): 73.00 - Voltage: 0.36 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 38501.44
Raw Signal Value (0-1023): 71.00 - Voltage: 0.35 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37329.56

```

Figura 9, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está limpio en el interior en mg/m<sup>3</sup>.

2. Luego se procedió a realizar las mediciones en campo (exterior) a las 2hs p.m. en invierno en un día despejado o claro, dando los siguientes resultados mostrados en la figura 10 siguiente:

Se puede apreciar que la variación de las mediciones en campo (exterior) no fue significativa respecto a la prueba en el interior.



```

- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37915.50
Raw Signal Value (0-1023): 77.00 - Voltage: 0.38 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 40845.19
Raw Signal Value (0-1023): 79.00 - Voltage: 0.39 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 42017.06
Raw Signal Value (0-1023): 75.00 - Voltage: 0.37 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 39673.31
Raw Signal Value (0-1023): 66.00 - Voltage: 0.32 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 34399.87
Raw Signal Value (0-1023): 65.00 - Voltage: 0.32 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 33813.94
Raw Signal Value (0-1023): 72.00 - Voltage: 0.35 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37915.50
Raw Signal Value (0-1023): 67.00 - Voltage: 0.33 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 34985.81

```

Figura 10, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está limpio en el exterior en mg/m<sup>3</sup>.

- Se procedió luego a dejar el sensor en el exterior y ensuciarlo de manera manual a un nivel parecido al de los paneles FV en campo y se observaron las siguientes lecturas mostradas en la figura 11 siguiente:

```

Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62

```

Figura 11, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está sucio en mg/m<sup>3</sup>.

Como condición de acción se tomaría un aumento por encima de 0,5mg/m<sup>3</sup> de partículas medidas por el sensor, en horario del mediodía como condición, para dar acción de limpieza.

## Conclusiones

De esta manera se puede concluir que cuando el sensor capta una densidad de polvo de 0,5 mg/m<sup>3</sup> la pérdida de potencia instantánea entregada por los paneles FV se reduce aproximadamente en un 5%. Este valor de densidad de polvo sería la condición necesaria para generar un aviso de ejecución de limpieza, donde esta puede ser realizada por un sistema automático.

## Referencias

- Alvarez, M. (2019). Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica. *Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica*. Valladolid, Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- Aparicio, M. P. (2015). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada*. Madrid: Editorial Marcombo.
- Cepeda, J. y Sierra, A. (2017). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. *Trabajo final de grado*. Santo Tomás, Jaen, España: Universidad Santo Tomás.
- Meinel, A.B. y Meinel M.P. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Editorial Reverté S.A.