

## Estudio de la degradación en paneles solares sometidos a prueba de humedad-congelación

### Study of the degradation in solar panels subjected to humidity-freezing test

SALAZAR-PERALTA, Araceli†\*, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises y CHÁVEZ, Rosa Hilda

*Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Araceli, Salazar-Peralta* / ORC ID: 0000-0001-5861-3748, Researcher ID Thomson: U-2933-2018, CVU CONACYT ID: 300357

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José Alfredo, Pichardo-Salazar* / ORC ID: 0000-0002-8939-9921

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Ulises, Pichardo-Salazar* / ORC ID: 0000-0002-3758-2038

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Rosa Hilda, Chávez* / ORC ID: 0000-0002-2460-3346

DOI: 10.35429/JSI.2019.12.3.10.16

Recibido 20 de Agosto, 2019; Aceptado 10 de Diciembre, 2019

#### Resumen

Todos los materiales en mayor o menor proporción interactúan con el medio ambiente, lo cual les ocasiona cambios. En algunos casos el cambio es solo en la apariencia, en otros, el cambio es en las propiedades. En el caso de los paneles solares, la degradación puede provocar una reducción de los parámetros eléctricos; por ejemplo: reducción de la potencia máxima suministrada por el panel solar. Para poder certificar el cumplimiento de una función durante un tiempo determinado, es necesario probar los materiales para comprobar el tiempo de vida útil de los mismos. El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad del módulo para soportar los efectos de alta temperatura y humedad, seguidos por temperatura de congelación. El ensayo se efectuó en una cámara climática marca Weiss, de acuerdo a la Norma IEC 61325. Los resultados obtenidos en 4 de las 5 muestras probadas cumplieron con la especificación de cambio de potencia menor al 5%, del valor inicial, solo una pieza denotó un cambio de 6%. Se concluye que hay que aumentar el No. de piezas a prueba para reducir la incertidumbre de medición. Este estudio contribuye al aseguramiento de calidad de los paneles solares.

#### Degradación, Panel solar, Congelación

#### Abstract

All materials in greater or lesser proportion interact with the environment, which causes them changes. In some cases the change is only in the appearance, in others, the change is in the properties. In the case of solar panels, degradation can cause a reduction in electrical parameters; for example: reduction of the maximum power supplied by the solar panel. To be able to certify the fulfillment of a function during a certain time, it is necessary to test the materials to verify the useful life of the same. The objective of this study was to determine the capacity of the module to withstand the effects of high temperature and humidity, followed by freezing temperature. The test was carried out in a Weiss climate chamber, according to IEC 61325. The results obtained in 4 of the 5 samples tested met the specification of power change of less than 5%, of the initial value, only One piece denoted a change of 6%. It is concluded that the number of pieces under test must be increased in order to reduce the measurement uncertainty. This study contributes to the quality assurance of solar panels.

#### Degradation, Solar Panel, Freezing

**Citación:** SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises y CHÁVEZ, Rosa Hilda. Estudio de la degradación en paneles solares sometidos a prueba de humedad-congelación. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-12: 10-16

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

El sol es una energía renovable. La tierra recibe del sol una energía anual aproximada de  $5.4 \times 10^{24}$  Joules. La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

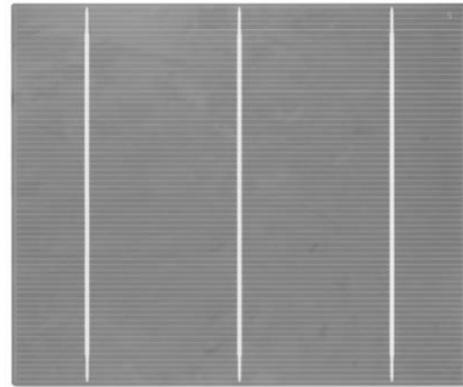
1. **Dispersión.** Su densidad alcanza  $1 \text{ kW/m}^2$ , cifra menor de otras densidades energéticas, por lo cual se necesitan grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
2. **Intermitencia,** lo cual hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada.

En general, la energía solar se puede describir como la energía que se recibe de la luz del sol y se convierte en energía eléctrica para el uso humano, es una de las principales fuentes de energía, ya que se encuentra a nivel mundial accesible a todas las personas, es más barata y viable, debido a que el sol es fácilmente disponible, el calor generado en la tierra corresponde al sol, por otra parte, los paneles solares son elementos construidos cuya finalidad principal es la de convertir la energía solar en energía eléctrica, para que se generen desde pequeñas hasta grandes cargas, tiene que pasar por un convertidor de energía, como lo es un panel solar fotovoltaico, que a través de células fotovoltaicas permite la producción de electricidad.

Los paneles solares, se construyen a partir del elemento químico, llamado silicio, el cual interviene en el proceso de creación de energía eléctrica a partir de la luz del sol. La energía solar puede incidir de forma directa o indirecta. En los días nublados a contrario de lo que se cree se puede producir energía perfectamente.

Los sistemas fotovoltaicos transforman directamente la irradiación solar en energía eléctrica de corriente continua. La ventaja de ellos es que no consumen combustibles fósiles y no contaminan. Las células fotovoltaicas se fabrican con semiconductores. Los semiconductores son elementos que tienen una conductividad eléctrica muy pequeña, pero superior a la de un aislante.

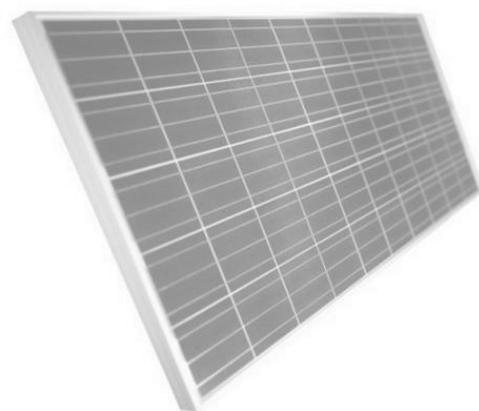
Los más utilizados son los de silicio, cuando los rayos del sol inciden sobre las células, la unión P – N de los semiconductores de ella junto con su metal conductor ayuda a producir energía. El elemento encargado de la transformación es la célula fotovoltaica (Figura 1).



**Figura 1** Célula fotovoltaica

*Fuente (IUSA)*

Los paneles fotovoltaicos están compuestos de varias células fotovoltaicas conectadas en serie y en paralelo para abarcar un amplio rango de tensiones y corrientes (Figura 2). En la industria fotovoltaica las celdas solares se utilizan como el principal material semiconductor para la fabricación de paneles solares, en conexión serie y/o en paralelo hasta formar el panel completo de células solares. Basada en el efecto fotovoltaico, la luz incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas que produce una diferencia de voltaje.



**Figura 2** Panel fotovoltaico

*Fuente (IUSA)*

La potencia es la propiedad más importante que produce un panel fotovoltaico, la cual se puede ver afectada por factores de la producción, así como de factores ambientales como son los cambios de temperatura, y humedad al estar en uso, de ahí la importancia del estudio de la degradación en condiciones de humedad y congelación.

En el presente trabajo se abordan en primer lugar los antecedentes de la energía solar, así como de un panel fotovoltaico. En segundo lugar se aborda la metodología utilizada para el estudio. En tercer lugar se analizan los resultados obtenidos. En cuarto lugar se comentan las conclusiones. Por último se agradece a las Instituciones que hacen posible el estudio. Y se mencionan las referencias consultadas.

### Antecedentes

El sol, como eje fundamental de la vida humana, fue venerado por casi todas las civilizaciones antiguas. En la antigua Grecia, los dioses del sol eran Helios y Apolo, a quienes se dedicaron incontables templos, también fueron los griegos los primeros en usar diseños de casas para aprovechar la luz del sol en forma pasiva, probablemente desde el año 400 A.C. Los romanos fueron los primeros en usar vidrio en las ventanas para atrapar la luz solar en los hogares. Incluso promulgaron leyes que penaban el bloquear el acceso a la luz a los vecinos.

También fueron los romanos los primeros en construir casas de cristal o invernaderos para crear condiciones adecuadas para el crecimiento de plantas exóticas o semillas que traían a Roma desde los lejanos confines del imperio. En 1867 el científico suizo Horace de Saussure desarrolló el primer colector solar. Edmond Becquerel, un físico francés, observó el efecto fotoeléctrico en 1839. Más recientemente, hace un poco más de 100 años, el científico francés Augustin Mouchot usó calor de un colector solar para producir vapor y mover un motor.

Desafortunadamente, los elevados costos impidieron que su invento tuviera un uso comercial. Alrededor de 1880 se fabricaron las primeras celdas fotovoltaicas de luz visible, hechas de selenio, con una eficiencia de conversión de 1 a 2%. El primer calentador de agua solar fue patentado en 1891 por Clarence Kemp, a principios de los 50's, se produjo un proceso de producción de cristales de silicio de alta pureza, lo que aceleró el desarrollo de la energía solar. En 1954 los laboratorios Bell Telephone desarrollaron celdas fotovoltaicas de silicio con una eficiencia del 4%, que después se elevó al 11%. En 1958 un pequeño satélite fue alimentado con una celda solar de menos de un watt de potencia.

Un desarrollo importante fue un calentador solar sumamente eficiente inventado por Charles Greeley Abbott en 1936. El calentador solar de agua se hizo popular por este tiempo en Florida, California y otros lugares. El crecimiento de esta industria fue alto hasta mediados de los 50's, cuando el bajo costo del gas natural hizo que este energético se usara como fuente principal para calentamiento. El abandono, para fines prácticos, de la energía solar duró hasta los 70's. Pero en esos años el aumento en el precio del petróleo y gas llevó a un resurgimiento en el uso de la energía solar para calentar hogares y agua, así como en la generación de electricidad. La Guerra del Golfo de 1990 aumentó aún más el interés en la energía solar como una alternativa viable en lugar de uso del petróleo.

Actualmente, la energía solar se utiliza de dos formas principales. La primera es la potencia térmica solar, en la que el sol se usa para calentar fluidos, los cuales impulsan turbinas y otras máquinas. La segunda es la conversión fotovoltaica (paneles solares) en los que la electricidad es producida directamente del sol.

Desde la construcción de casas en la antigüedad con la orientación adecuada para captar la luz solar, hasta las modernas celdas fotovoltaicas delgadas, los humanos han aprovechado la luz solar para cubrir sus necesidades de energía. Lo que resulta perfectamente lógico, ya que, después de todo, el sol proporciona suficiente energía cada hora para cubrir las demandas mundiales anuales.

La creciente demanda que se presenta en la actualidad, conlleva a desarrollar nuevas y mejores tecnologías que permitan el manejo adecuado del trabajo para la conversión en energía. Estas permiten la oportunidad de sustentabilidad para el desarrollo tecnológico, conocimiento y crecimiento de impacto sobre el tratamiento de diferentes componentes que junto con otras tecnologías permitan tener más cantidad de ellas y así mismo sustitutos que se puedan reemplazar y/o utilizar para tener mayor carga de energía.

La energía solar fotovoltaica consta de un panel solar que almacena la mayor cantidad de energía producida por el sol y extraída del ambiente durante el día, para posteriormente convertirla en energía fotovoltaica que permita la distribución de electricidad en el lugar que se requiera, obteniendo así un ahorro considerable, de ahí la importancia de estudiar la resistencia a la degradación de los paneles solares los cuales estarán expuestos a diferentes condiciones de funcionamiento en diversas condiciones climáticas, las cuales dependerán del lugar donde se encuentren instalados.

Degradación de los materiales. Todos los materiales en mayor o menor proporción sufren cambios al interactuar con el medio ambiente, con frecuencia dichos cambios modifican las características del material. En ocasiones el cambio es solamente en la apariencia, en otras el cambio es en las propiedades

El objetivo de este estudio fue determinar la resistencia a la degradación de los paneles fotovoltaicos frente a alta temperatura, y humedad-congelación, dato necesario para conocer la vida útil de los paneles, los cuales se desempeñaran en diferentes tipos de clima y condiciones atmosféricas diversas.

## Metodología

### Prueba de Humedad-congelación

El propósito de este ensayo fue determinar la capacidad del panel solar para soportar los efectos de alta temperatura y humedad seguidos por temperaturas bajo cero, condiciones de ensayo establecidas en la Norma IEC 61215 para el Aseguramiento de Calidad de los Paneles Solares, cabe aclarar que este ensayo, no es una prueba de choque térmico. A continuación se explica el equipo utilizado y la forma en la que se realizó el estudio.

### Aparatos

- a. una cámara climática con temperatura automática y control de la humedad, capaz de someter uno o más módulos en el ciclo de humedad de congelación especificado en la Figura 3.
- b. Equipo de montaje o soporte del módulo (s) en la cámara, con el fin de permitir la libre circulación del aire circundante. La conducción térmica del soporte o de apoyo deberá ser bajo, de modo que, para efectos prácticos, el módulo (s) es (son) térmicamente aislado.
- c. Equipo para medir y registrar la temperatura del módulo con una precisión de  $\pm 1$  °C. (Es suficiente para controlar la temperatura de una muestra representativa, si más de un módulo está siendo probado.)
- d. Equipo para la supervisión, durante toda la prueba, la continuidad del circuito interno de cada módulo.



**Figura 3** Cámara climática

Fuente (IUSA)

### Procedimiento

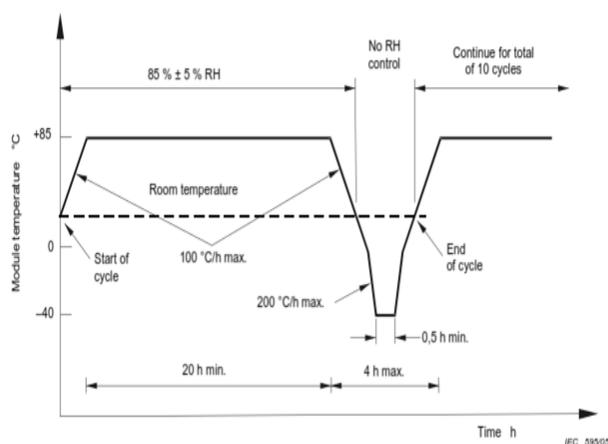
1. Se colocó un sensor de temperatura en la superficie frontal del módulo (s) cerca del medio.
2. Se instaló el módulo (s) a temperatura ambiente en la cámara climática.
3. Se conectó el equipo de monitoreo de temperatura al sensor (s) de temperatura.
4. Después de cerrar la cámara, se sometió el módulo (s) 10 ciclos completos de conformidad con el perfil de la Figura 4. La temperatura máxima y mínima fue de  $\pm 2$  °C, de acuerdo a los niveles especificados y la humedad relativa se mantuvo dentro de  $\pm 5\%$  del valor especificado.
5. A lo largo de la prueba, se registró la temperatura del módulo.

## Mediciones finales

Después de un tiempo de recuperación entre 2 y 4 h, Se midió la potencia de los paneles después de la prueba.

## Especificación

La degradación de la potencia de salida máxima no excederá del 5% del valor medido antes de la prueba. Los resultados obtenidos se registraron en la Tabla 1, Gráfica 1 y Gráfica 2.



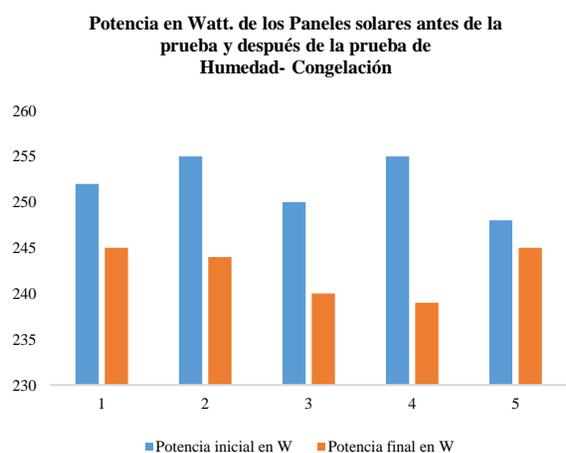
**Figura 4** Ciclo de Humedad-Congelación

Fuente (Norma IEC 61215).

No. de panel	Potencia inicial en Watt	Potencia después de la prueba	degradación de potencia en %
1	252	245	2.7
2	255	244	4.3
3	250	240	4.0
4	255	239	6.2
5	248	245	1.2

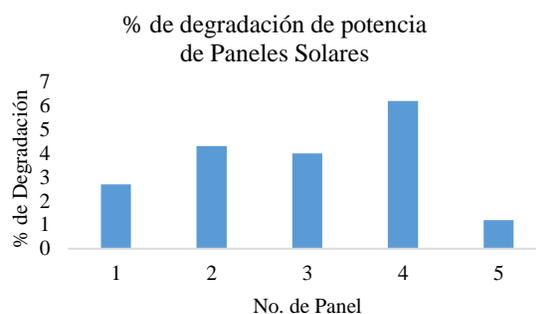
**Tabla 1** Potencia de Paneles solares antes y después de la prueba de Humedad-Congelación

Fuente: Elaboración Propia



**Gráfica 1** Cambio de Potencia de Paneles Solares después de la prueba de Humedad-congelación

Fuente: Elaboración Propia



**Gráfica 2** Porcentaje de Degradación de Paneles solares Después de la prueba de Humedad congelación

Fuente: Elaboración Propia

## Análisis de Resultados

Los paneles fotovoltaicos deben de cumplir con una serie de garantías, normatividad y certificación para poder garantizar el tiempo de vida útil, bajo las distintas condiciones medioambientales establecidas en las Normas IEC 61730, IEC 61215, IEC 61646, E IEC 61701, así como ensayos de durabilidad establecidos en las Normas IEC 61215, e IEC 61646, dentro de las cuales se encuentra el ensayo de Resistencia a la Congelación-Humedad: 10 ciclos de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , con 85% de Humedad relativa, motivo de este estudio.

Como puede observarse en la tabla 1. La degradación en porcentaje de la pérdida de potencia, que sufrieron 4 de los 5 paneles fotovoltaicos probados, fue de 1.2 a 4.3. Solo uno de ellos presentó un porcentaje de degradación de potencia igual 6.2 después del ensayo, 1.2% más del máximo especificado. Este estudio sienta las bases de otros posteriores y conlleva a revisar todas las etapas del proceso para determinar la causa o causas inherentes. La organización productora, mejorará continuamente mediante la adecuación y efectividad del sistema de gestión de la calidad.

La organización deberá aplicar las disposiciones previstas, en las etapas apropiadas, para verificar que los requisitos del producto y servicio se cumplan, de ahí la importancia de la realización de la prueba de Humedad-congelación.

Se recomienda verificar todas las estaciones del proceso, para reducir las variaciones en cada etapa del mismo, así como implementar la ejecución de todos los ensayos establecidos en las Normas para el aseguramiento de calidad del producto y satisfacción del cliente

## Conclusiones

Este estudio contribuyó a determinar el tiempo de vida útil del panel solar, así como su resistencia a la degradación en condiciones extremas de temperatura y humedad. La inspección visual y la medición eléctrica de la potencia antes y después de la prueba de temperatura humedad-congelación, sirvieron para visualizar que el funcionamiento de los módulos cumple en el 80% con las exigencias establecidas en la Norma IEC 61215, de igual manera contribuye con el aseguramiento de calidad del proceso de fabricación.

Los datos obtenidos sirvieron para verificar que los paneles solares fabricados, durante 25 años trabajarán en condiciones óptimas, ya que la degradación de potencia fue menor del 5% establecido en 4 muestras de las 5 sometidas a prueba de temperatura humedad-congelación. Es necesario realizar otros estudios con 10 muestras más, para determinar con mayor certeza lo que está ocurriendo, así como para reducir la incertidumbre de medición.

## Agradecimientos

Se agradece al Centro de Cooperación Academia Industria del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, por el apoyo recibido para la realización de este estudio.

## Referencias

- A. Gabor, M. Ralli, S. Montminy, L. Alegria, C. Bordonaro, J. Woods, L. Felton, "Soldering induced damage to thin Si solar cells and detection of cracked cells in modules," Proceedings of the 21st EUPVSEC, Dresden, Germany, 2006, pp. 2042–2047.
- A. Halm, V. Mihailetchi, G. Galbiati, L. Koduvelikulathu, R. Roescu, C. Comparotto, R. Kopecek, K. Peter, J. Libal, "The Zebra cell concept - large area n-type interdigitated back contact solar cells and one-cell modules fabricated using standard industrial processing equipment," Proceedings of the 27th EUPVSEC, Frankfurt am Main, Germany, 2012, pp. 567-570.
- A. Schneider, M. Pander, T. Korvenkangas, S. Aulehla, R. Harney, T. Hort-tana, "Cell to Module Loss Reduction and Module Reliability Enhancements by Solder Ribbon. Asociados. S. A. Castillo Plaza, L. C. (2019). Empleo de la energía solar para generación eléctrica con paneles solares para la localidad de Luzfaque (Sector Ii)-Mesones Muro-Ferreñafe.
- Barrera, P. (2009). "Simulación y caracterización de celdas solares multi-juntura y de silicio cristalino para aplicaciones espaciales." (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de General San Martín Comisión Nacional de Energía Atómica Instituto de Tecnología. República Argentina.
- C. Ferrara, "Philip Why do PV Modules Fail?, in: Proceedings of the International Conference on Materials for Advanced Technologies, Singapore," Energy Procedia 15, 2011, 379–387.
- Casas Perdomo, N. E., & Sánchez Rojas, Á. J. (2019). Estudio de viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el parque logístico el Zol en Funza Cundinamarca.
- Cengel, Y., y Hernán, P. J. (2004). "Transferencia de calor". México: McGraw-Hill.
- Duran, J. C., Bruno, C. J., y Bolzi, C. G. (2002). "Convenio de cooperación CONAE-CNEA: Desarrollo, fabricación y ensayo de paneles solares para misiones satelitales argentinas." Profesional Independiente, 20(1), 0329-5184.
- <http://www.energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>
- Jose Ramon Obaya Cueva. (2002). Paneles prefabricados. España: Grupo Industrial de Artes Gráficas Ibersaf Industrial, S. L.
- Kunze, S. Kajari-Schröder, X. Breitenmoser, B. Bjørneklett, "Quantifying the risk of power loss in PV modules due to micro cracks," Solar Energy Materials and Solar Cells 95, 2011, pp. 1131-1137.
- M. Sander, S. Dietrich, M. Pander, M. Ebert, M. Karraß, R. Lippmann, M. Broddack and D. Wald, "Influence of manufacturing processes and sub-sequent weathering on the occurrence of cell cracks in PV modules," Proceedings of the 28th EUPVSEC, Paris, France, 2013, pp. 3275-3279.

Manuel Fernández Barrera. (2010). *Energía Solar: Energía Fotovoltaica*. Madrid: Liberfactory.

Martín Álvarez, S. (2019). Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica

Optimization, "Proceedings of The 29th EUPVSEC, Amsterdam, Netherlands, 2014,

P. Hacke, K. Terwilliger, S. Glick, D. Turdell, N. Bosco, S. Johnston, S. Kurtz, "Test-to-Failure of Crystalline Silicon Modules", in: Proceedings of 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Hawaii, 2010, pp. 248–250.

Pierre Chemillier. (1980). *Industrialización de la construcción: los procesos tecnológicos y su futuro*. Barcelona: Editores Técnicos. pp. 165-170.