

## UTILIZACIÓN DE INVERSORES BIDIRECCIONALES COMERCIALES PARA PRUEBAS BASADAS EN ELECTROLUMINISCENCIA

**Sánchez P., González D., Terrados C., González M.A., Jiménez J., Martínez O.**

GdS-Optronlab group, Dpto. Física de la Materia Condensada, Universidad de Valladolid, Edificio LUCIA, Paseo de Belén 19, 47011 Valladolid, España (pa.sanchez.arroyo@gmail.com).

### RESUMEN

Una de las herramientas de inspección de los paneles fotovoltaicos más interesante actualmente es la técnica de la electroluminiscencia (EL). Permite detectar con detalle los posibles defectos presentes en las células solares que conforman el panel y, por tanto, su estado de degradación, relacionado directamente con su rendimiento. Típicamente, se utiliza una fuente de tensión para polarizar los paneles durante la realización de las medidas de EL. En el presente artículo, sin embargo, se analiza la sustitución de dicha fuente por un inversor de topología bidireccional, obteniendo resultados que muestran claras ventajas de trabajar con este tipo de dispositivos. Los beneficios que se han obtenido pasan por la simplificación del proceso de medida, el aumento de la seguridad y la mejora en la monitorización remota de las inspecciones.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Solar, Paneles fotovoltaicos, Electroluminiscencia, Inversor bidireccional, Silicio.

### ABSTRACT

Nowadays, one of the most interesting tools for studying the physical state of photovoltaic panels is the electroluminescence (EL) technique, which allows to detect with great detail the defects present in the solar cells forming the panel, and therefore the state of degradation of the panels under study, directly related to their performance. A voltage source is typically used to bias the panels during the EL measurements. In this article, however, the substitution of this source for a bidirectional inverter is analyzed, obtaining results that show clear advantages of working with these kinds of devices. The benefits that have been obtained go through the simplification of the measurement process, the increase in security and the improvement in the remote monitoring of inspections.

**KEYWORDS:** Solar Energy, Photovoltaic panels, Electroluminescence, Bidirectional inverter, Silicon.

## INTRODUCCIÓN

La optimización del funcionamiento de las plantas fotovoltaicas precisa hacer revisiones periódicas de los diferentes elementos que las componen: módulos, inversores, etc., en el ámbito de las inspecciones de operación y mantenimiento (O&M) de dichas plantas. Una de las técnicas más interesantes para el control del estado de los paneles fotovoltaicos es la electroluminiscencia (EL), que consiste en la monitorización de la luz emitida por las células fotovoltaicas que conforman los paneles al ser polarizadas mediante una tensión eléctrica adecuada. En el caso del Silicio, esta emisión se sitúa en torno a los 1150 nm (Fuyuki et al. 2005).

Las imágenes de EL permiten visualizar con gran detalle diferentes tipos de defectos presentes en las células solares, tales como resistencias en serie, grietas y micro-grietas, fallos en los diodos de derivación, defectos de interconexión, defectos inducidos por luz, etc. (Koester et al. 2021) y, de esta forma, conocer con detalle el estado de degradación de los paneles, directamente relacionado con su rendimiento. En la Fig. 1 se muestra una imagen de EL de un panel multicristalino con un elevado número de defectos.

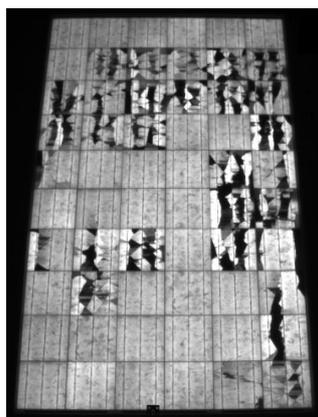


Fig. 1. Ejemplo de una imagen de EL de un panel de Si multicristalino

Debido a la débil intensidad de la señal emitida y al elevado nivel de la radiación natural existente en la región del espectro de emisión del Si, las pruebas de EL se realizan habitualmente durante la noche o en laboratorios móviles, para reducir el ruido, con las consiguientes limitaciones y problemas que conlleva trabajar en una planta fotovoltaica en estas condiciones. El grupo de investigación GdS-Optronlab ha puesto a punto un dispositivo, basado en una cámara en el infrarrojo próximo (NIR), una fuente de alimentación para la inyección de corriente en los paneles, junto con un interruptor electrónico, capaz de obtener imágenes de EL en el exterior, incluso bajo elevados niveles de irradiación ( $1100 \text{ W/m}^2$ ) (Guada et al., 2020). Con este equipo se obtienen resultados de EL diurna de calidad similar a las imágenes obtenidas en ambientes nocturnos, con las ventajas de comodidad y seguridad que supone trabajar durante el día en una planta fotovoltaica.

En este trabajo se ha investigado, además, la posibilidad de realizar las medidas utilizando para la inyección de corriente un inversor comercial de tipo bidireccional, y se han analizado las posibles ventajas que pueda tener frente a una fuente tradicional, comparando los resultados obtenidos en ambos casos. Actualmente, en el mercado existe una amplia variedad de inversores de acuerdo con las necesidades de cada aplicación, permitiendo los denominados inversores bidireccionales la inyección de corriente a la totalidad de los paneles que estén conectados a dicho inversor (J. Ballestín-Fuertes et al., 2020). La Fig. 2 muestra la polarización de todo el string conectado al inversor bidireccional utilizado (planta piloto del grupo GdS-Optronlab, Edificio LUCIA, Universidad de Valladolid).

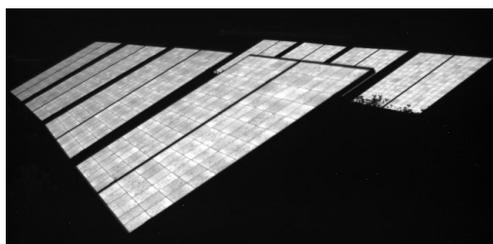


Fig. 2. Polarización de todos los paneles conectados al inversor bidireccional utilizado (planta piloto, Edificio LUCIA, Univ. de Valladolid)

## PROCEDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR

Los inversores bidireccionales permiten polarizar directamente los paneles e inyectarles la corriente necesaria para generar la EL. En este trabajo se ha utilizado un inversor de la marca INGETEAM, modelo INGECON SUN 20 TL, cuyo firmware ha sido modificado por el fabricante para habilitar la posibilidad de trabajar bidireccionalmente a elección del usuario. Este inversor permite modificar el modo de operación de MPPT (Maximum Power Point Tracker) a un modo denominado VIN (Voltage Input), que permite polarizar los paneles con una tensión constante comprendida entre 600 y 820 V. Esto permite regular la inyección de corriente a los paneles, Fig. 3.

Una ventaja del inversor bidireccional es que permite, además, el control y la monitorización de la planta fotovoltaica, lo que se realiza desde la plataforma online del inversor, permitiendo la comunicación instantánea desde cualquier lugar. Esto es un factor imprescindible para conseguir una elevada automatización en las inspecciones de O&M mediante EL. En el caso del inversor bidireccional utilizado, se ha empleado un sistema de control y supervisión de procesos a distancia tipo SCADA, basado en la comunicación por Ethernet utilizando el protocolo Modbus-TCP. La comunicación final con el inversor se realiza por RS-485 a través del protocolo Modbus-RTU.

El proceso de medida realizado en este trabajo se visualiza en la Fig. 3, donde se muestran los datos obtenidos del sistema de monitorización del inversor. En la gráfica se representa la variación de la intensidad y del voltaje en función del tiempo, a lo largo de una jornada. Se incluyen las tomas de medidas con el inversor bidireccional e inmediatamente después con una fuente de alimentación estándar, para poder realizar la comparación entre ambas medidas. Se pueden apreciar cuatro zonas:

- Tramos 1 y 4: Inversor trabajando en modo MPPT, transformando la energía generada por los paneles fotovoltaicos.
- Tramo 2: Inversor desconectado. Se desactiva el inversor (desaparece la intensidad, y la tensión se mantiene en 0 V) para realizar la medida de EL polarizando los paneles con una fuente de alimentación estándar. Al realizar la polarización con la fuente no es posible monitorizar los valores de tensión e intensidad en cada momento de la medida.
- Tramo 3: Inversor trabajando en modo VIN. Se establece una tensión constante de unos 700 V, que se suministra a los paneles para realizar la medida de EL con polarización mediante el inversor bidireccional, inyectando unos 7,2 A (signo negativo en la gráfica). La variación de la intensidad durante este tramo es debido a la técnica llevada a cabo para la obtención de las imágenes resultado de las medidas (Guada et al., 2020).

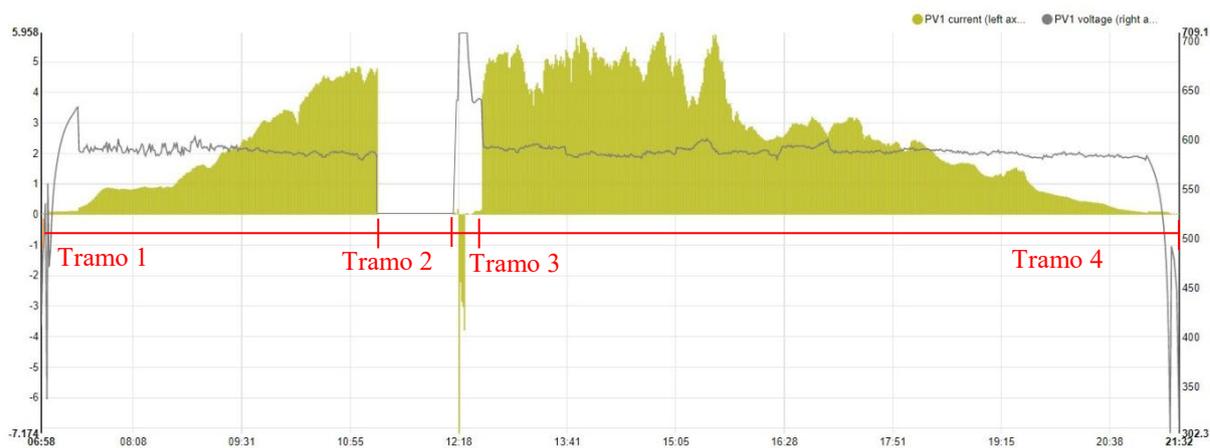


Fig. 3. Gráfica I (barras verdes con eje vertical a la izquierda) – V (línea negra con eje vertical a la derecha) de los paneles objeto de estudio durante una jornada, obtenida a partir de la monitorización del inversor.

El proceso de medida que se llevó a cabo para comparar los resultados polarizando los paneles con una fuente de alimentación y con el inversor bidireccional se dividió en dos etapas.

En primer lugar, y tras desconectar el inversor bidireccional de la red y conectar el interruptor electrónico de control de polarización, se obtuvo la imagen de EL utilizando una fuente de alimentación de 420 W de potencia, capaz de inyectar una corriente de alrededor de 7 A a un único panel (tramo 2, Fig.3). Posteriormente se conectó de nuevo el inversor, estableciéndose de forma remota y progresiva la tensión necesaria para inyectar nuevamente la misma corriente que en el caso anterior, 7 A, obteniendo de nuevo la imagen de EL (tramo 3, Fig. 3). Esto permite comparar las imágenes resultantes en ambos casos, obtenidas ambas en condiciones prácticamente iguales de irradiación solar. En la Fig. 4 se muestra una fotografía de los equipos utilizados en cada caso, pudiéndose apreciar el conexionado extra que supone la polarización mediante la fuente de alimentación. En el caso del inversor bidireccional solo es necesario el conexionado del interruptor electrónico.



Fig. 4. Realización de las medidas de EL con polarización mediante la fuente de alimentación (izq.) y mediante el inversor bidireccional (dcha.)

Una vez realizado el proceso completo de medida sobre un mismo panel fotovoltaico y bajo las mismas condiciones, se compararon las imágenes de EL obtenidas en cada caso, Fig. 5. En lo que se refiere al tiempo total de obtención de las imágenes, en ambos casos la duración del proceso de medida es idéntico, ya que depende únicamente de los parámetros del resto de elementos, independientemente del dispositivo de polarización. Como se puede observar, los resultados en ambos casos son totalmente similares, sin que se distingan diferencias reseñables entre la imagen obtenida utilizando el inversor bidireccional y la obtenida con la fuente de alimentación. Hay que resaltar que el número de paneles que pueden ser polarizados simultáneamente con la fuente de alimentación depende de la potencia de ésta (en este caso, con la fuente utilizada, un único panel), mientras que utilizando el inversor bidireccional es posible polarizar simultáneamente todos los paneles conectados con él, lo que acorta de manera muy significativa el tiempo total para la obtención de la imagen de EL de todos los paneles del string.

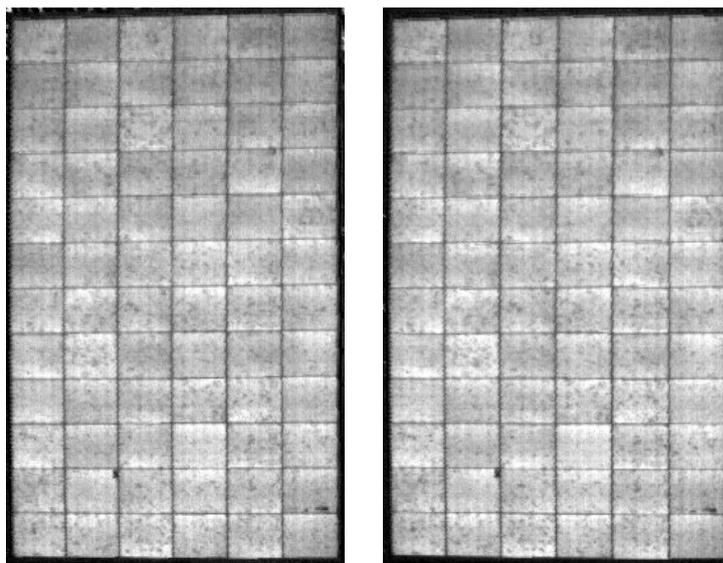


Fig. 5. Resultados de las medidas de EL. La imagen de la izquierda corresponde a la realizada polarizando mediante el inversor bidireccional y la de la derecha mediante la fuente de alimentación. El resto de parámetros que intervienen en la medida, independientes del sistema de polarización, se mantienen iguales.

Un aspecto importante a destacar del inversor utilizado es que, a diferencia de los inversores comerciales comunes, dispone de una opción que evita la desconexión por defecto del dispositivo durante las horas nocturnas (opción

habitual para minimizar el consumo de energía innecesario en el periodo nocturno). Esta opción permite, en nuestro caso, la realización también de medidas de EL nocturnas, pudiendo realizar si se estima oportuno el ciclo de medida sin necesidad de interrumpir la producción. La Fig. 6 muestra las imágenes de EL diurna y nocturna obtenidas con el inversor bidireccional, mostrando resultados completamente similares.

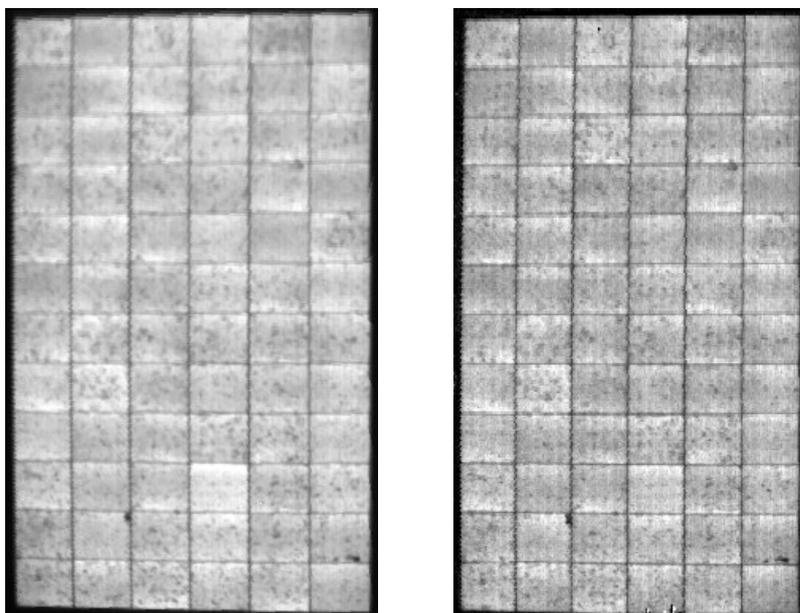


Fig. 6 . Imágenes de EL de un mismo panel obtenidas mediante las pruebas realizadas con el inversor bidireccional. La imagen de la izq. se corresponde con la imagen nocturna y la de la dcha. con la diurna

## CONCLUSIONES

Las imágenes de EL, tanto nocturnas como diurnas, utilizando para la polarización de los paneles un inversor de tipo bidireccional, son totalmente similares a las obtenidas utilizando una fuente de tensión continua estándar en lo que a resolución y calidad de las imágenes se refiere. Sin embargo, la utilización del inversor bidireccional comporta una serie de ventajas muy importantes con respecto a la utilización de una fuente de alimentación estándar. Al eliminar la necesidad de conexión y desconexión de la fuente a los strings, no solo se ahorra tiempo, permitiendo que el proceso de medida sea más eficiente, sino que se mejora notablemente la seguridad de las medidas, al evitar los riesgos que una mala manipulación puede suponer, tanto para los operarios como para la planta, ya que se trabaja con intensidades elevadas y peligrosas, acortando significativamente además el tiempo para realizar la inspección. Otro aspecto beneficioso es la monitorización y control de los parámetros correspondientes a los paneles de forma remota, lo que se realiza directamente a través del inversor.

El empleo de inversores bidireccionales comerciales, junto con las innovaciones actuales en la técnica de medida, abren la puerta para la utilización de dispositivos, tipo dron (aéreo o terrestre), lo que permitiría automatizar la obtención de las medidas de EL, simplificando y abaratando las operaciones de O&M necesarias para optimizar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas.

## REFERENCIAS

Guada M., Moretón A., Rodríguez-Conde S., Sánchez L.A., Martínez M., González M.A., Jiménez J., Pérez L., Parra V. and Martínez O. (2020) Daylight luminescence system for silicon solar panels based on a bias switching method. *Energy Sci. Eng.* vol. 8, n.º 11, pp. 3839-3853.

Koester L., Astigarraga A., Lindig S., Louwen A., Antinori M., Moser D., Manzolini G. (2021) Quality assurance of the photovoltaic power plants installation stage - a complementary strategy based of photoluminescence and steady-state thermography. 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.

Fuyuki T., Kondo H., Yamazaki T., Takahashi Y. and Uraoka Y. (2005) Photographic Surveying of Minority Carrier Diffusion Length in Polycrystalline Silicon Solar Cells by Electroluminescence. *Applied Physics Letters*, 86, 262108.

Ballestín-Fuertes J., Muñoz-Cruzado-Alba J., Sanz-Osorio J.F., Hernández-Callejo L., Alonso-Gómez V., Morales-

Aragones J.I., Gallardo-Saavedra S., Martínez-Sacristan O., Moretón-Fernández A. (2020) Novel Utility-Scale Photovoltaic Plant Electroluminescence Maintenance Technique byn Means of Bidirectional Power Inverter Controller, Applied. Sciences., vol. 10, n.o 9, p. 3084.