



Cámaras de imagen térmica: una herramienta rápida y fiable para examinar placas solares.

La garantía de calidad tiene una importancia fundamental para las placas solares. Un funcionamiento libre de fallos es un requisito imprescindible para que estas placas generen energía de manera eficiente, tengan una vida útil prolongada y sean altamente rentables. Para garantizarlo es necesario un método rápido, simple y fiable que evalúe su rendimiento, durante el proceso de producción y después de ser instaladas.

El uso de cámaras de imagen térmica para la evaluación de las placas solares ofrece varias ventajas. En una imagen térmica nítida se pueden ver anomalías con claridad y —a diferencia de la mayoría de los otros métodos— las cámaras térmicas pueden emplearse para inspeccionar las placas solares instaladas durante su funcionamiento. Por último, las cámaras de imagen térmica también permiten revisar grandes superficies en poco tiempo.

En el campo de investigación y desarrollo (I+D), las cámaras de imagen térmica son ya un instrumento consolidado para evaluar células fotovoltaicas y placas solares. Para estas mediciones sofisticadas, por lo general se emplean cámaras de alto rendimiento con sensores refrigerados en condiciones controladas de laboratorio.

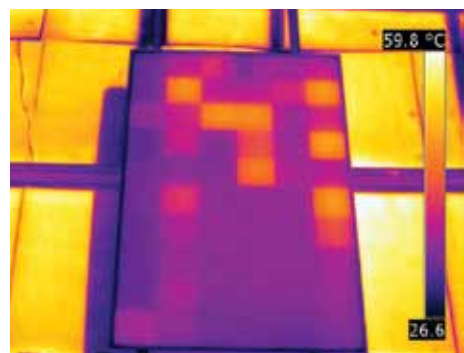
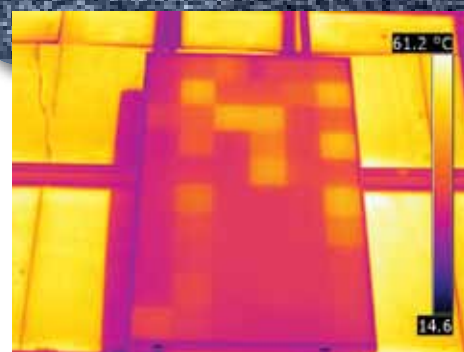
No obstante, el empleo de cámaras de imagen térmica para la evaluación de placas solares no se limita al campo de la investigación. Las cámaras térmicas no refrigeradas se están utilizando cada vez más para el control de calidad de las placas solares antes de su instalación y para las comprobaciones regulares de mantenimiento preventivo una vez se han instalado. Dado que estas asequibles cámaras son portátiles y ligeras, permiten un uso muy flexible sobre el terreno.

Con una cámara de imagen térmica es posible detectar áreas que podrían tener problemas o averías potenciales y repararlas antes de que

se produzcan. Pero no todas las cámaras de imagen térmica son adecuadas para inspeccionar células fotovoltaicas y hay algunas normas y directrices que se deben seguir para efectuar inspecciones eficientes y garantizar que se extraigan conclusiones correctas. Los ejemplos de este artículo se basan en módulos fotovoltaicos con células fotovoltaicas cristalinas; sin embargo, las normas y las directrices se aplican también a la inspección de imágenes térmicas de módulos de película delgada, ya que los conceptos básicos de termografía son los mismos.

Procedimientos de inspección de placas solares con cámaras de imagen térmica

Durante el proceso de desarrollo y producción las células fotovoltaicas se activan con electricidad o con lámparas de destello. Esta activación asegura que haya un contraste térmico suficiente para que las mediciones de termografía sean precisas. Sin embargo, este método no puede aplicarse para verificar placas solares



Termograma con el nivel y el intervalo de tiempo en modo automático (arriba) y en modo manual (abajo).

sobre el terreno, por tanto el operario debe garantizar la suficiente entrada de energía solar.

Para alcanzar un suficiente contraste térmico cuando se inspeccionan células fotovoltaicas sobre el terreno, se necesita una radiación solar de 500 W/m² o superior. Si se desea obtener un resultado máximo, se aconseja que la radiación solar sea de 700 W/m². La radiación solar es la energía instantánea que incide sobre una superficie en unidades de kW/m² y pueden medirse con un piranómetro (para la radiación solar global) o un pirheliómetro (para la radiación

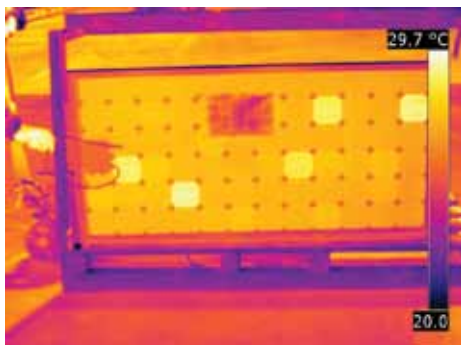


solar directa). Depende mucho de la ubicación y de la meteorología local. Las temperaturas exteriores bajas también pueden aumentar el contraste térmico.

¿Qué tipo de cámara necesita?

Las cámaras de imagen térmica manuales utilizadas para las inspecciones de mantenimiento preventivo suelen tener un sensor microbolómetro sensible no refrigerado de un ancho de banda de 8–14 μm . Sin embargo, en esta región el vidrio no es transparente. Cuando se inspeccionan las células fotovoltaicas desde el frente, una cámara de imagen térmica ve la distribución del calor en la superficie de vidrio pero solo indirectamente la distribución de calor de las células subyacentes. Por lo tanto, las diferencias de temperatura que pueden medirse y verse en la superficie de vidrio de las placas solares son pequeñas. Para que estas diferencias sean visibles, la cámara de imagen térmica utilizada para estas inspecciones debe tener una sensibilidad térmica $\leq 0,08\text{K}$. Para visualizar con claridad diferencias pequeñas de temperatura en la imagen térmica, la cámara debe permitir también un ajuste manual del nivel y el intervalo de tiempo.

Por lo general, los módulos fotovoltaicos se montan en una estructura de aluminio muy reflectante, que en la imagen térmica se ve como un área fría, porque refleja la radiación térmica emitida por el cielo. En la práctica eso significa que la cámara de imagen térmica grabará la temperatura de la estructura como si fuera inferior a 0°C . Como la ecualización del histograma de la cámara de imagen térmica se adapta automáticamente a las mediciones de temperatura máxima y mínima, muchas ano-



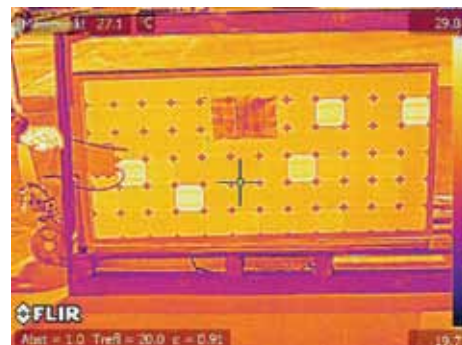
La imagen térmica sin DDE (izquierda) y con DDE (derecha).

malías térmicas pequeñas no se visualizan de inmediato. Para lograr una imagen térmica de gran contraste, es necesario corregir continuamente de forma manual el nivel y el intervalo de tiempo.

La función denominada realce digital de detalles (DDE, Digital Detail Enhancement), ofrece la solución. La DDE optimiza automáticamente el contraste de la imagen en escenas de intervalo muy dinámico y ya no es necesario ajustar la imagen de forma manual. Por lo tanto, una cámara de imagen térmica que cuenta con DDE es adecuada para inspecciones precisas y rápidas de placas solares.

Funciones útiles

Otra característica útil de una cámara de imagen térmica es la rotulación de las imágenes con datos del GPS. Ayuda a localizar con facilidad los módulos defectuosos en superficies grandes —por ejemplo, en los parques de energía solar— y también a relacionar las imágenes térmicas con el equipo —por ejemplo, en los informes—.



La cámara de imagen térmica debe tener una cámara digital incorporada para poder grabar la imagen visual (foto digital) junto con la imagen térmica asociada. También es útil el denominado modo de fusión, que permite superponer las imágenes térmicas y visuales. La cámara permite grabar comentarios de voz y de texto junto con la imagen térmica, lo que es útil para los informes.

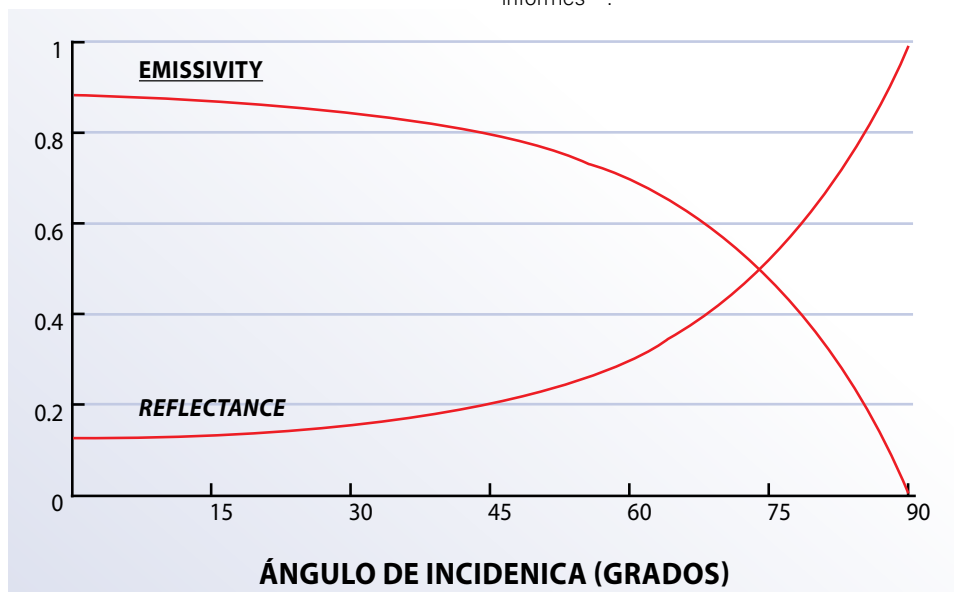
Posición de la cámara: deben tenerse en cuenta la reflexión y la emisividad

Aunque el vidrio tiene una emisividad de 0,85–0,90 en el ancho de banda de 8–14 μm , no es fácil hacer mediciones térmicas en superficies de este material. La reflexión del vidrio es especular, lo que significa que los objetos circundantes que posean temperaturas diferentes pueden verse con claridad en la imagen térmica. En el peor de los casos, el resultado son interpretaciones erróneas (falsos «puntos calientes») y errores de medición.

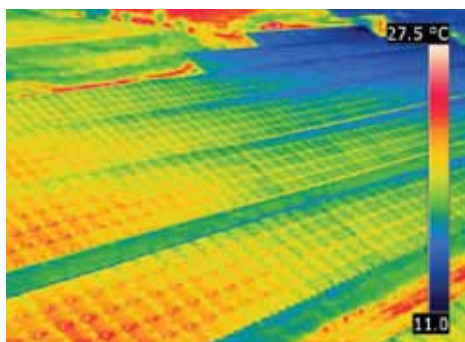
Para evitar la reflexión de la cámara de imagen térmica y del operador en el vidrio, no debe colocarse en posición perpendicular con respecto al módulo que se está inspeccionando. No obstante, la mayor emisividad se produce cuando se sitúa la cámara en posición perpendicular y disminuye al aumentar el ángulo. Un ángulo de observación de 5–60° es lo recomendado (donde 0° es la posición perpendicular).

Observaciones a larga distancia

No siempre es fácil lograr un ángulo de observación adecuado cuando se prepara la medición. En la mayoría de los casos, el empleo de un trípode puede ser la solución. En condiciones más difíciles puede ser necesario utilizar plataformas de trabajo móviles o incluso sobrevolar las células fotovoltaicas en un helicóptero. En estos casos, puede ser ventajosa una mayor distancia con respecto al objetivo, ya que permite observar una superficie mayor de una sola pasada. Para garantizar la calidad de la imagen térmica, debe utilizarse una cámara de termo-



La emisividad del vidrio depende del ángulo



Para no sacar conclusiones equivocadas, es necesario mantener la cámara de imagen térmica en un ángulo correcto mientras se inspeccionan las placas solares.

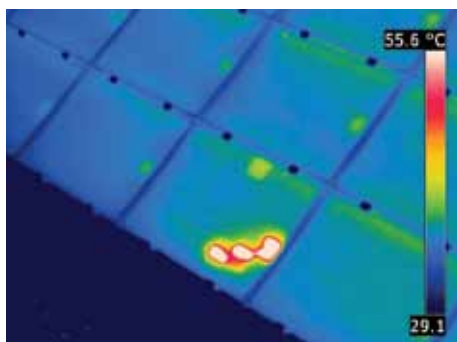


Imagen térmica obtenida con una cámara FLIR P660 en un vuelo efectuado sobre un parque de energía solar (el termograma es cortesía de Evi Müllers, IMM).



Ángulo de observación recomendado (verde) y a evitar (rojo) durante las inspecciones de termografía.

grafía con una resolución de la imagen de 320 × 240 píxeles como mínimo y para distancias mayores preferiblemente de 640 × 480 píxeles.

La cámara también debe tener lentes intercambiables para que el operador pueda optar por una lente telefotográfica para las observaciones a larga distancia como las que se hacen desde un helicóptero. Sin embargo, es aconsejable utilizar solo lentes telefotográficas con cámaras de imagen térmica de alta resolución de imagen. Las cámaras de imagen térmica de baja resolución no pueden captar los detalles térmicos pequeños que indican averías en las placas solares en mediciones a larga distancia efectuadas con lentes telefotográficas.

Inspecciones desde otra perspectiva

En la mayoría de los casos, los módulos fotovoltaicos instalados también se pueden inspeccionar desde su parte trasera con una cámara de imagen térmica. Este método reduce al mínimo las interferencias de las reflexiones del sol y las nubes. Además, las temperaturas obtenidas en la parte trasera del módulo pueden ser mayores, ya que la célula se mide directamente y no a través de la superficie de vidrio.

Condiciones ambientales y de medición

Cuando se efectúan inspecciones de termografía, el cielo debe estar despejado ya que las nubes reducen la radiación solar y además producen interferencias por reflexión. Sin embargo, es posible obtener imágenes informativas incluso con un cielo cubierto, siempre que la cámara de imagen térmica utilizada sea lo suficientemente sensible. Es preferible que no haya viento, ya que cualquier corriente de aire que circule por la superficie del módulo solar causará un enfriamiento convectivo y, en consecuencia, reducirá el gradiente térmico. Cuanto menor sea la temperatura del aire, mayor será el posible contraste térmico. Una posibilidad es efectuar inspecciones de termografía por la mañana temprano.

Otra manera de aumentar el contraste térmico es desconectar las células de la carga, para evitar el flujo de corriente, lo que permite que el calentamiento se produzca exclusivamente por radiación solar. Luego se conecta a la carga y se observan las células en la fase de calentamiento.

No obstante, en circunstancias normales, se debe inspeccionar el sistema en condiciones de funcionamiento corrientes, es decir con carga.

Según el tipo de célula y el tipo de avería o fallo, las mediciones sin carga o en condiciones de cortocircuito pueden brindar información adicional.

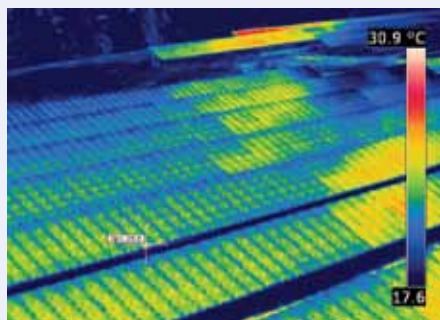
Errores de medición

Los errores de medición surgen principalmente debido a un mal posicionamiento de la cámara y a condiciones ambientales y de medición subóptimas. Los típicos errores de medida están causados por:

- Ángulo de observación demasiado pequeño
- Cambio en la radiación solar en el tiempo (debida, por ejemplo, a cambios de nubosidad del cielo)
- Reflexiones (p. ej., sol, nubes, edificios circundantes de mayor altura, preparación de las mediciones)
- Sombra parcial (p. ej., de los edificios circundantes u otras estructuras).

Qué se puede ver en la imagen térmica

Si algunas partes de la placa solar están más calientes que otras, las áreas calientes se ven con claridad en la imagen térmica. Según su forma y su ubicación, estos puntos y áreas calientes pueden indicar distintas averías. Un



Esta imagen térmica muestra grandes superficies con altas temperaturas. A falta de más información, no resulta obvio si se trata de anomalías térmicas o de sombras o reflexiones.

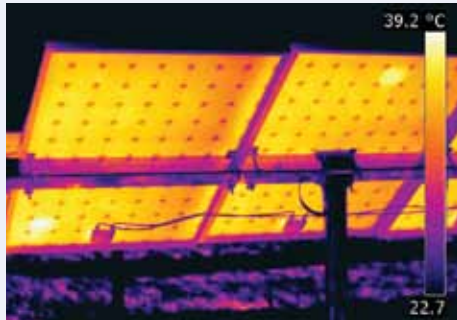


Imagen térmica de la parte trasera de un módulo solar, tomada con una cámara FLIR P660. A la derecha se muestra su imagen visual correspondiente.



Tipo de error	Ejemplo	Aparece en la imagen térmica como	Thermogramm
Defecto de fabricación	Impurezas y bolsas de gas	Un «punto caliente» o un «punto frío»	
	Grietas en las células	Calentamiento de las células, forma principalmente alargada	
Avería	Grietas	Calentamiento de las células, forma principalmente alargada	
	Grietas en las células	Una parte de una célula aparece más caliente	
Sombreado temporal	Contaminación	Puntos calientes	
	Excrementos de pájaros		
	Humedad		
Diodo de derivación defectuoso (causa cortocircuitos y reduce la protección del circuito)	N.d.	Un «patrón en parches»	
Interconexiones defectuosas	Módulo o serie de módulos no conectados	Un módulo o una serie de módulos está constantemente más caliente	

Tabla 1: Lista de errores típicos de los módulos (Fuente: ZAE Bayern e.V., «Überprüfung der Qualität von Photovoltaik-Modulen mittels Infrarot-Aufnahmen» [«Verificación de la calidad de módulos fotovoltaicos con imágenes infrarrojas»], 2007)

módulo entero más caliente de lo habitual puede indicar problemas de interconexión. Si se ven células individuales o series de células como un punto caliente o un «patrón en parches» más caliente; por lo general, la causa puede encontrarse en los diodos de derivación defectuosos, en cortocircuitos internos o en un desacople entre células.

Estas manchas rojas indican módulos que están constantemente más calientes que el resto, lo que indica la presencia de conexiones defectuosas.

Esta imagen térmica muestra un ejemplo del denominado «patrón en parches» que indica

que este panel tiene un diodo de derivación defectuoso.

Este punto caliente en una célula fotovoltaica revela un daño físico dentro de la célula.

El sombreado y las grietas en las células aparecen en la imagen térmica como puntos calientes o parches poligonales. El aumento de temperatura de una célula o de parte de una célula indica la presencia de una célula defectuosa o de sombreado. Deben compararse las imágenes térmicas obtenidas con y sin carga y en condiciones de cortocircuito. La comparación de las imágenes térmicas de las caras frontal y trasera del módulo también puede dar

información valiosa. Desde luego, para identificar correctamente la avería, también deben comprobarse eléctricamente e inspeccionarse visualmente los módulos que muestran anomalías.

Conclusiones

La inspección de los sistemas fotovoltaicos mediante termografía permite localizar rápidamente los posibles errores a nivel de células o módulos, además de detectar posibles problemas de interconexión eléctrica. Las inspecciones se realizan en condiciones normales de funcionamiento y hacen innecesaria la desconexión del sistema.

Para obtener imágenes térmicas correctas e informativas, es necesario que se cumplan ciertas condiciones y procedimientos de medición:

- Debe utilizarse una cámara de imagen térmica adecuada, con los accesorios correctos.
- Se necesita una radiación solar suficiente (como mínimo 500 W/m²; preferiblemente más de 700 W/m²).
- El ángulo de observación debe estar comprendido entre los límites seguros (entre los 5° y los 60°).
- Deben evitarse el sombreado y las reflexiones.

Las cámaras de imagen térmica se utilizan principalmente para localizar defectos. La clasificación y la evaluación de las anomalías detectadas exigen una comprensión correcta de la tecnología solar, el conocimiento del sistema inspeccionado y mediciones eléctricas adicionales. Por supuesto, es indispensable documentarse correctamente, sin excluir todas las condiciones de inspección, mediciones adicionales y otra información relevante.

Las inspecciones con una cámara de imagen térmica —empezando por el control de calidad en la fase de instalación, seguido de comprobaciones regulares— facilitan una comprobación técnica completa y simple de las condiciones del sistema, lo que ayuda a mantener la funcionalidad de las placas solares y a extender su duración. Por lo tanto, el empleo de cámaras de imagen térmica para las inspecciones de placas solares mejora drásticamente la rentabilidad de la inversión de la empresa explotadora.

Para obtener más información, visite www.flir.com o póngase en contacto con:

FLIR Commercial Systems B.V.
Charles Petitweg 21
4847 NW Breda – Países Bajos
Teléfono: +31 (0) 765 79 41 94
Fax: +31 (0) 765 79 41 99
Correo electrónico: flir@flir.com
www.flir.com