

We measure it.



Guía práctica Termografía para instalaciones fotovoltaicas.

Introducción.

Las instalaciones fotovoltaicas son un aporte importante para el cambio del modelo energético y para el tratamiento sostenible de los recursos. En las últimas dos décadas se han instalado muchas instalaciones fotovoltaicas pequeñas y grandes impulsadas por medidas de fomento estatal en muchos países del mundo. Después de la fase de auge, va cobrando importancia sobre todo el mantenimiento de las instalaciones existentes.

Esta guía práctica le muestra cómo la termografía le ayuda en la puesta en servicio, la documentación y el mantenimiento, y le proporciona consejos y trucos útiles para el uso de una cámara termográfica.



Índice:

La motivación y las razones para el uso de la termografía	4
Imágenes de fallos y causas	7
Consejos y trucos para la medición y prevención de fallos	11
¿Cómo se ve la cámara termográfica ideal?	14
Las cámaras termográficas de Testo para la termografía solar	17
Cámaras termográficas, l herramienta ideal para la inspección de instalaciones fotovoltaicas	18

La motivación y las razones para el uso de la **termografía**.

Detección de una calidad deficiente en los mercados.

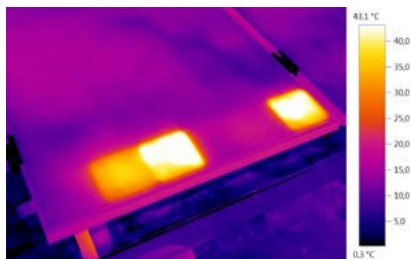
En los años de auge de la tecnología fotovoltaica, la cartera de pedidos estaba llena en abundancia y los instaladores solares no daban abasto con los pedidos. Esto significaba que no solo las empresas artesanales bien capacitadas ejecutaban los pedidos. Muchas empresas provenientes de otros sectores y personal técnico poco cualificado ayudaron a cubrir la gran demanda. Las consecuencias se siguen sintiendo hoy: Deficiencias de elaboración, rendimiento insuficiente de la energía solar hasta riesgos de seguridad e incendio. En primera instancia, las expectativas de los titulares hacia las

instalaciones no se hacen realidad.

Sin embargo, las consecuencias de una implementación de baja calidad recaen finalmente en la empresa contratista de modo que las reclamaciones de indemnización pueden hacerse valer sobre la base de un análisis termográfico.

Aseguramiento de calidad y garantía.

Con el empleo de la termografía puede comprobarse si la calidad de las células modulares cumple con los requerimientos. Mediante la correcta combinación de los diferentes módulos se evitan los llamados desajustes, en los cuales los módulos potentes son frenados por módulos de menor calidad. Con la inspección antes de la expiración de los plazos de garantía, pueden hacerse valer a tiempo eventuales reclamos de garantía ante los proveedores.



Las anomalías térmicas indican una posible pérdida de rendimiento energético.

Evitar pérdidas de rendimiento de los clientes.

La base de una instalación fotovoltaica nueva es un amplio análisis de inversión y rendimiento.

Los cálculos de rendimiento se extiende a un período de hasta 20 años. Dichos cálculos no incluyen sin embargo las pérdidas de rendimiento debido a instalaciones mal ejecutadas. Con el uso de la termografía se puede elaborar una documentación de recepción en la puesta en servicio y demostrar la instalación correcta. De ese modo no hay sorpresas para el titular de la instalación y la calidad puede demostrarse. Para garantizar el rendimiento sostenible, es importante efectuar comprobaciones periódicas, ya que la eficiencia de un sistema solar depende de la temperatura. Si los módulos se tornan más calientes debido a la sombra, a células dañadas o subcadenas, es decir, consumen electricidad y no la producen, la eficiencia se reduce ya en un 0,5 % por Kelvin. Un calentamiento promedio del 10 °C con respecto a la temperatura media normal significa ya un rendimiento de energía un 5 % inferior.

Por eso, debido a la situación actual del sector, las recomendaciones son un instrumento de mercadeo muy importante con el fin de adquirir más clientes luego de un pedido terminado. Pues, únicamente un cliente satisfecho recomendará una empresa profesional y fiable.

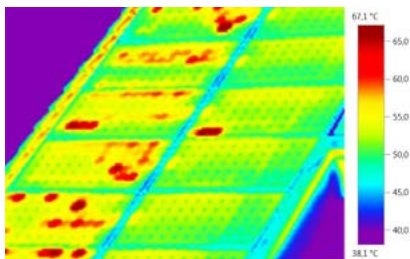
Eficientes negocios adicionales y sucesivos. Después de que en los años de auge se tratara principalmente de instalar un sistema fotovoltaico lo más rápido posible, el punto clave radica hoy en día en la inspección y el mantenimiento periódico de las instalaciones fotovoltaicas. Los contratos de mantenimiento pueden generar una fuente de ingresos adicional en el negocio clásico de posventa. El uso de la termografía le permite ofrecer a los clientes un servicio de posventa que asegura el valor de la instalación a largo plazo.

Protección contra incendios. La protección contra incendios juega un papel cada vez más importante. Si bien los inversores y componentes eléctricos modernos son cada vez más potentes (mayor eficiencia), debe considerarse también la elevada disipación de calor resultante. Los componentes eléctricos mal montados o mal refrigerados pueden provocar rápidamente un incendio, especialmente cuando la base es de material combustible. Los componentes eléctricos instalados en el exterior están expuestos a un envejecimiento más rápido debido a las condiciones meteorológicas y a la radiación UV. Los cables eléctricos corroídos o sueltos

Termografía

presentan anomalías térmicas que pueden visualizarse con una cámara termográfica.

Ventaja de ahorro de tiempo. La termografía es un método de medición sin contacto. En corto tiempo es posible escanear los módulos solares a gran escala. Las anomalías térmicas y diferencias de temperatura en los módulos se tornan inmediatamente visibles y sirven como una primera indicación de posibles fallos. Mientras que antes todos los ramales de módulo se medían individualmente, hoy en día es posible concentrarse en los



Módulos deteriorados tras una tormenta con relámpagos.

módulos y células térmicamente notables mediante la termografía para otras mediciones (p. ej. con una analizador de curvas características).

Ventaja de protección del seguro.

Hasta ahora, los diodos de derivación averiados por tormentas podían localizarse solo con dificultad. La termografía representa una herramienta sencilla y rápida para detectar tales daños. Los costes de subsanación de fallos son absorbidos normalmente por los seguros.

Seguridad durante las inspecciones.

Los sistemas fotovoltaicos están generalmente sometidos a tensión a la luz del día. En cadenas de módulos modernos no son infrecuentes las tensiones de hasta 1000 V. Esto representa un considerable peligro de electrocución para las personas. En este sentido, la termografía es un método de inspección seguro ya que la generación de imágenes térmicas se ejecuta siempre a la distancia requerida con respecto al objeto de medición. Por lo tanto, las especificaciones sobre distancias de seguridad pueden ser fácilmente cumplidas.

Imágenes de fallos y causas.

A la búsqueda del punto caliente.

Las células ensombrecidas o dañadas constituyen una resistencia eléctrica interna que provoca un calentamiento indeseado ("punto caliente"). La célula puede calentarse tan intensamente, que no solo puede dañarse a sí misma, sino también provocar daños al material de encapsulado (EVA) y a la lámina del reverso (TPT).

Los diodos de derivación tienen la función de evitar dicho efecto. Sin embargo, los diodos de derivación defectuosos o que no respondan (en caso de ensombrecimiento mínimo) provocan adicionalmente la generación de puntos calientes incontrolables. Si durante la fase de planificación no se consideraron los ensombrecimientos (por ejemplo debido a instalaciones de alta tensión o árboles), células modulares y diodos de derivación quedan sometidos a una carga permanente durante años.

Puntos calientes y sus consecuencias.

Esencialmente, los puntos calientes tienen dos consecuencias:

- El rendimiento energético disminuye, dado que algunas células individuales o todo el módulo consumen energía eléctrica en lugar de generarla.

- Las células y los módulos se calientan debido a la generación no intencional de electricidad. Además de los daños en las células individuales y la reducción adicional del rendimiento energético, esta situación puede convertirse en un concreto peligro de incendio.

Detección de puntos calientes con la termografía.

En general, los fallos en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos a partir de una radiación solar de unos 600 W/m^2 se pueden diagnosticar rápidamente con una cámara termográfica con base en los cambios evidentes de las propiedades térmicas. Esta clase de cambios surgen por:

- Diodos de derivación defectuosos
- Fallos de contacto y cortocircuitos en células solares
- Entrada de humedad, suciedad
- Grietas en las células o en el cristal del módulo
- Módulos en circuito abierto y sin conexión
- Pérdidas por mal conexionado, es decir, pérdidas de potencia causadas por la conexión de módulos fotovoltaicos de potencias diferentes

Termografía

- Cableados erróneos y puntos de contacto flojos
- Síntomas de envejecimiento y de estrés.

Imágenes de fallos en células y módulos.

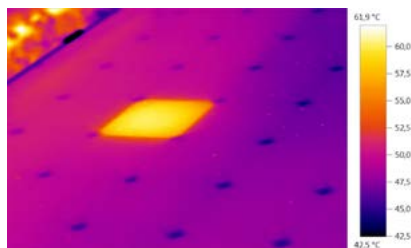
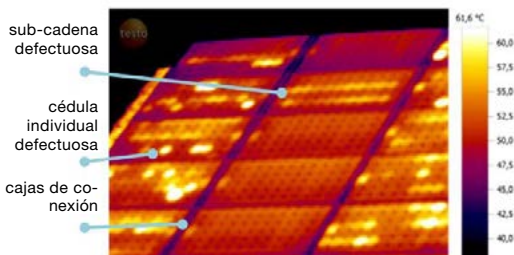
La imagen infrarroja muestra imágenes de fallos comunes en células individuales defectuosas y subcadenas.

Las tomas de corriente presentes en la imagen indican un calentamiento visible. Esto no sugiere obligatoriamente un error. Sin embargo, si las tomas de corriente se sobrecalientan es necesario revisar la evolución de la temperatura.

Módulos en circuito abierto. No es extraño que los módulos estén en circuito abierto. Ello puede deberse a módulos mal conectados o cables deshilachados o mordidos. Esto puede observarse a través de una imagen infrarroja homogénea más caliente en comparación con los demás módulos de la imagen infrarroja.

Delaminación. Debido a las influencias externas o a una calidad deficiente, es posible que la capa protectora EVA se afloje. La humedad penetrante puede ocasionar corrosión en la célula y con ello una pérdida de rendimiento.

Imágenes de errores comunes de las células y los módulos solares.



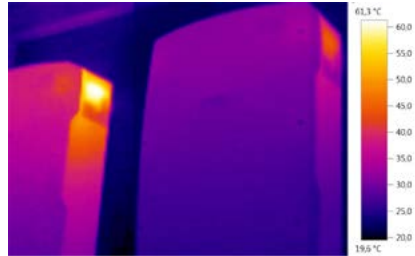
Eso se puede detectar con una cámara termográfica, antes de que las capas se tornen visiblemente “lechosas”.

Rotura de célula. Las microfisuras y las roturas de célula pueden surgir durante el transporte y el montaje. Las influencias mecánicas externas también pueden ser la causa de esto. Mientras que las microfisuras no son críticas, las roturas de células pueden reducir el rendimiento.

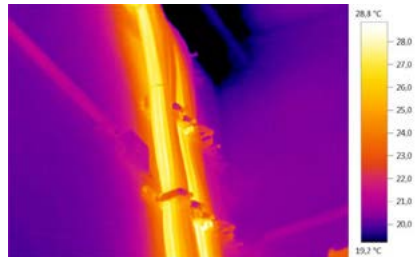
Inspección de componentes eléctricos y mecánicos.

Además de las células o módulos individuales, mediante termografía pueden comprobarse también componentes eléctricos. Corrosión de los conductores eléctricos, conectores o cables sueltos causan resistencias de contacto eléctrico, que son perceptibles por un aumento significativo de la temperatura. Así, además de los módulos generadores de energía, también es posible comprobar los componentes eléctricos:

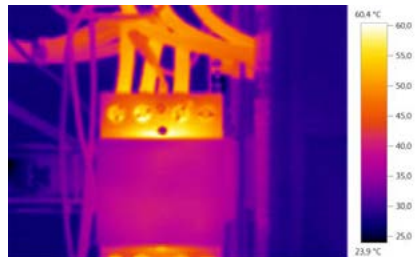
- Contactos corroídos y conectores enchufables
- Alternador
- Contactos sueltos
- Tomas de corriente sobrecalentadas



El inversor izquierdo está notablemente más caliente.



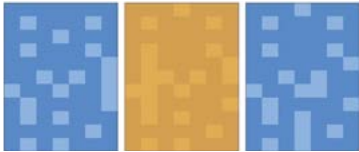

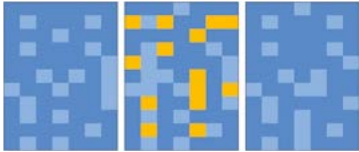
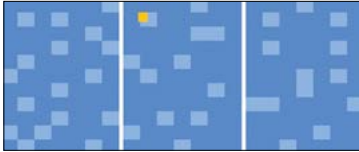
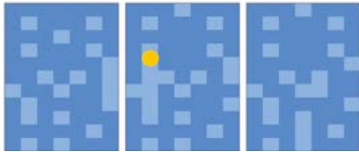
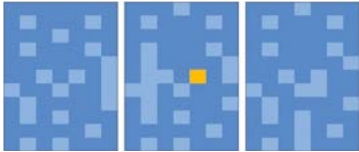
Cable de corriente continua sin calentamiento crítico.



Calentamiento evidente en conexiones eléctricas.

Resumen de imágenes de fallos y causas.

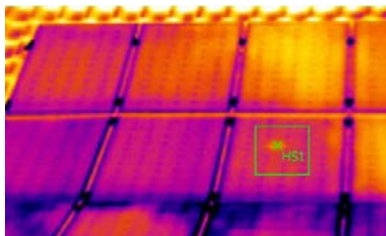
En la vista general siguiente se enumeran de forma esquemática las imágenes de fallos típicos y sus posibles causas.

	<p>Imagen infrarroja 1</p> <p>Descripción: Calentamiento uniforme de un módulo en comparación con otros.</p> <p>Posible avería: El módulo se encuentra en circuito abierto.</p> <p>Posible causa: Módulo no conectado, cable mordido o roto.</p>
	<p>Imagen infrarroja 2</p> <p>Descripción: El módulo indica un calentamiento por filas de una cadena.</p> <p>Posible avería: Cortocircuito de un ramal de células.</p> <p>Posible causa: Diodo defectuoso, por ejemplo tras una tormenta.</p>
	<p>Imagen infrarroja 3</p> <p>Descripción: "Patrón de remiendo", en el cual células individuales están distribuidas azarosamente y notoriamente más calientes.</p> <p>Posible avería: Módulo completo en cortocircuito.</p> <p>Posible causa: Mal conectado o todos los diodos de derivación defectuosos.</p>
	<p>Imagen infrarroja 4</p> <p>Descripción: Solo una parte de una célula está notoriamente más caliente.</p> <p>Posible avería: Rotura de célula.</p> <p>Posible causa: Daños de montaje o transporte u otro tipo de acción mecánica externa.</p>
	<p>Imagen infrarroja 5</p> <p>Descripción: Calentamiento puntiforme o irregular.</p> <p>Posible avería: Grietas en la célula o formación de artefactos.</p> <p>Posible causa: Defectos de fabricación en caso de grietas en la célula.</p> <p>Sombreado debido, por ejemplo, a suciedad (excrementos de pájaros...).</p>
	<p>Imagen infrarroja 6</p> <p>Descripción: Calentamiento de una sola célula.</p> <p>Posible avería: No es necesariamente un fallo.</p> <p>Posible causa: Sombreado o célula defectuosa.</p>

Consejos y trucos para la medición y prevención de fallos.

Requisitos meteorológicos.

La inspección debería realizarse en lo posible en días secos y sin nubes, con radiación solar intensa (aprox. 600 W/m^2). La exposición a la luz solar directa lleva a los paneles solares a su máxima potencia, y las células solares dañadas se destacan de forma más caliente que las otras en la imagen infrarroja, debido a una sobrecarga o avería. Como valor orientativo se considera una radiación de aprox. 600 W/m^2 . Si la radiación solar cambia durante la medición, por ejemplo debido a la presencia de nubes la imagen infrarroja no es ya utilizable. Para lograr gradientes de temperatura lo más elevados posible y por ende bien detectables, se recomienda realizar la medición a temperaturas exteriores bajas (por ejemplo, por la mañana o por la noche). Eventualmente deberá considerarse también el efecto de enfriamiento de los paneles



Las reflexiones de nubes son visibles.

por acción del viento.

Orientación correcta. En la medición termográfica es decisiva la orientación de la cámara con respecto al módulo fotovoltaico. La energía irradiada depende de la dirección, es decir, en la medición de temperatura de rayos infrarrojos, la orientación de la cámara con respecto a la superficie del módulo debería ser de $60-90^\circ$. El módulo fotovoltaico debe orientarse en lo posible en forma perpendicular con respecto a la dirección de incidencia de la radiación solar. Los errores de medición debido a un ángulo erróneo llevan, por ejemplo, a la impresión de diferencias de temperatura y a reflexiones distorsionadas. Además debe observarse que la imagen de medición no se ve afectada por las reflexiones, tales como las de la propia cámara, del técnico que efectúa la medición, del sol o de edificios cercanos. También la radiación reflejada es detectada por la cámara. Las reflexiones pueden detectarse modificando el ángulo de la cámara, dado que se aquellas se mueven con éste.



Correcta orientación para medición de un módulo.

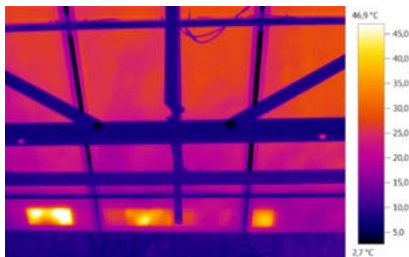


Imagen de un módulo desde atrás.

En módulos solares con soportes elevados se puede aplicar la termografía también en la parte posterior dado que prácticamente se pueden excluir las reflexiones y se alcanza una mayor emisividad. La transferencia de calor es suficiente para evaluar bien las distribuciones de temperatura también en la parte posterior. De ese modo se evitan mediciones e interpretaciones erróneas.

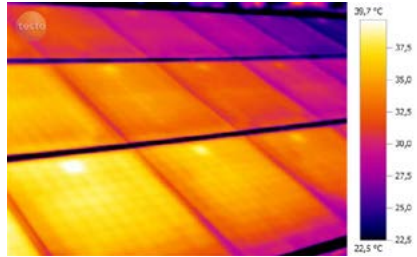
Interpretación y evaluación. Si aparecen desviaciones de la temperatura durante la evaluación de los termogramas, esto no quiere decir que los módulos afectados presentan defectos. Así, por ejemplo, imágenes infrarrojas llamativas pueden estar indicando un ensombrecimiento parcial debido a la presencia de suciedad. Al mismo tiempo, una sola célula dañada no necesariamente lleva a una pérdida de rendimiento de todo el panel. Sólo la avería de secciones enteras del panel provoca una pérdida de rendimiento significativa. **Por eso son necesarios los exámenes adicionales, como la inspección visual, una medición de curvas características o de electroluminiscencia, para localizar la supuesta causa del fallo.**

También las temperaturas absolutas representadas en los termogramas deben interpretarse con cuidado. Reflexiones de la radiación de cielo frío pueden, por ejemplo, llevar a una interpretación errónea -el cielo claro, azul del verano, irradia con hasta $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aquí, es aconsejable trabajar con los valores ΔT y prestar especial atención a las diferencias extremas de temperatura dentro de un panel o en comparación con el panel vecino.

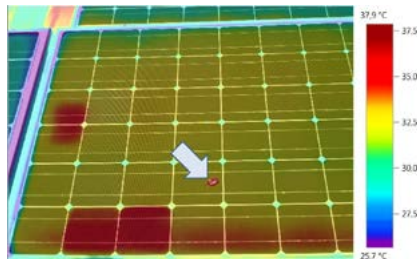
Los puntos calientes no necesariamente están indicando una célula defectuosa. No todo punto caliente térmico debe ser un signo de fallo de una célula solar. De este modo, los soportes y cajas de conexión pueden resultar visibles debido a la transferencia de calor en la superficie del módulo.

Los módulos con fuertes discrepancias no necesariamente presentan defectos; eventualmente están solo sucios y deben ser limpiados.

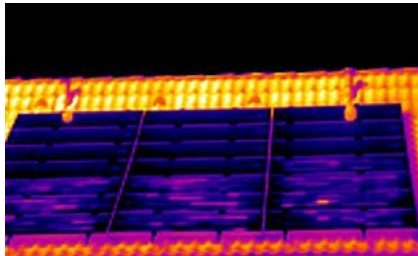
Level y span. El ajuste del llamado **level y span es de gran importancia para la detección de fallos.** Las cámaras termográficas detectan en su modo automático el punto más caliente y el más frío y ajustan la gradación de color en todo el intervalo. Esto significa que, debido a una amplia dispersión, se pueden pasar por alto diferencias de temperatura relevantes.



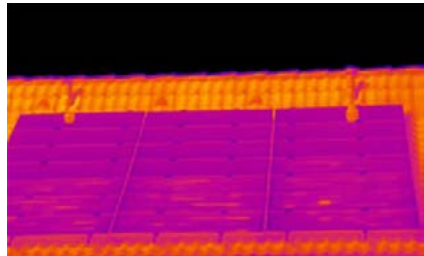
Se visualizan las cajas de conexión en la parte posterior.



La superposición de imágenes muestra una suciedad debida a excrementos de pájaros en el punto más caliente.



Configuración manual.



Configuración automática.

¿Cómo se ve la cámara termográfica ideal?

La comprobación de instalaciones fotovoltaicas mediante la termografía, presenta exigencias muy elevadas para el uso de una cámara termográfica. Para seleccionar una cámara termográfica, adecuada para este fin, deben considerarse varios criterios:

- Resolución infrarroja del detector
- Resolución térmica (NETD)
- Objetivos intercambiables
- Funciones de la cámara
- Software

Resolución infrarroja o resolución geométrica.

La resolución geométrica (indicada en mrad) describe la posibilidad de una cámara termográfica de reconocer objetos (p. ej. distintas células modulares defectuosas) desde una cierta distancia. Dado que la resolución geométrica depende, entre otras cosas, de la resolución infrarroja, en instalaciones fotovoltaicas de grandes dimensiones y en mediciones desde gran distancia se recomiendan resoluciones infrarrojas de por lo menos 320 x 240 píxeles (76.800 puntos de medición). Para la comprobación de instalaciones pequeñas y mediciones desde corta distancia pueden resultar suficientes

también resoluciones a partir de 160 x 120 píxeles (19.200 puntos de medición).

Resolución térmica (NETD).

La resolución térmica describe la capacidad de la cámara termográfica para detectar diferencias de temperatura en la superficie de un objeto. Una resolución térmica de, por ejemplo, 0.05 °C (o 50 mK) significa que la cámara termográfica puede detectar esa diferencia y mostrarla en la pantalla, graduándola en un esquema cromático diferente. Cuanto menor es la resolución térmica, tanto mejor es la imagen infrarroja generada.

Objetivos intercambiables. Además de la resolución infrarroja del detector, también el ángulo de apertura del objetivo influye sobre la resolución geométrica. También para medir en instalaciones grandes, por ejemplo,



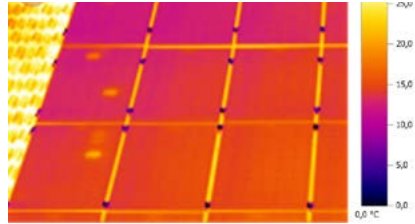
Una resolución geométrica elevada simplifica la inspección de instalaciones grandes.

desde una plataforma elevadora y con ahorro de tiempo, los teleobjetivos deben ser intercambiables. Las cámaras testo 882, testo 885 y testo 890 permiten un cambio rápido del objetivo.

Pantalla giratoria. Una pantalla giratoria disponible en las cámaras testo 885 y testo 890 ayuda a prevenir errores de medición en la dirección correcta de la cámara termográfica (véase consejos y trucos). De este modo es posible efectuar tomas desde arriba. Las mediciones en la parte trasera de los módulos también se simplifican así. La cámara termográfica puede girarse a la posición deseada sin que nadie necesite tenderse sobre el suelo.

Modo solar. Este modo de toma es una función especialmente útil para la termografía solar. En el modo solar es posible almacenarse la irradiación solar en W/m^2 con cada imagen, con el fin de documentar con ello las correspondientes condiciones ambientales.

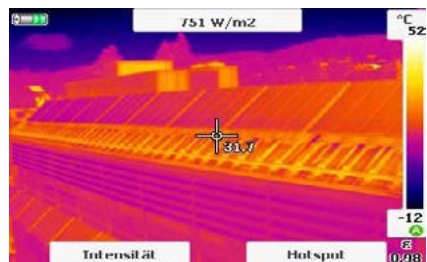
Secuencias de vídeo. Una medición de vídeo totalmente radiométrica o función de registro permite grabar secuencias de vídeo. En este modo de toma integrado en las cámaras testo 885 y testo 890 se recorren las distintas filas de instalaciones sobre el piso con soporte de elevación, mientras la



Toma de una instalación de tejado con teleobjetivo desde una gran distancia.



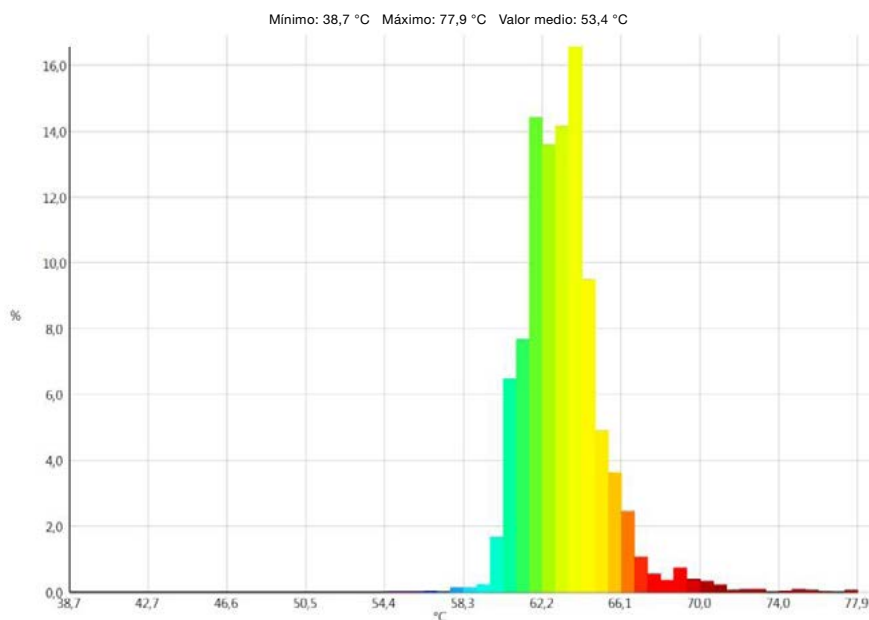
testo 885 con pantalla giratoria para tomas desde arriba.



La irradiación solar en W/m^2 se guarda junto con cada imagen.

cámara termográfica graba secuencias de vídeo. Las tomas son evaluadas a continuación en un ordenador mediante software, con el consiguiente ahorro de tiempo. En las instalaciones grandes solo se deben examinar los módulos llamativos.

Software. El software de análisis (p. ej. testo IRSOFT) permite la optimización y el análisis de las imágenes térmicas y garantiza que los diagnósticos se representen y documenten claramente en las imágenes. El software tiene que ser de manejo fácil e intuitivo, con una estructura clara. En IRSOFT es posible crear informes profesionales y significativos en pocos minutos mediante las plantillas de informes predefinidas.



Histograma de temperatura de un módulo solar.

La figura superior muestra el histograma de temperatura de un módulo solar. En él pueden leerse diferentes aspectos. Mientras que la temperatura media es de 53,4 °C, hay valores máximos de hasta 77,9 °C, en comparación con la temperatura mínima de 38,7 °C. Con indicación de la frecuencia en porcentaje se puede hacer

una declaración sobre el número de células que se encuentran en rangos de temperatura críticos. En la imagen existente se puede leer que aprox. 55 % de todos los valores de temperatura son superiores a 63 °C, lo que significa que acusan ya 10 °C más que el valor medio de 53,4 °C.

Las cámaras termográficas de Testo para la **termografía solar**

Datos técnicos en comparación.

	testo 872	testo 882	testo 885	testo 890
Resolución	320 x 240	320 x 240	320 x 240	640 x 480
Resolución con SuperResolution	640 x 480	640 x 480	640 x 480	1280 x 960
Sensibilidad térmica	0,06 °C	0,05 °C	0,03 °C	0,04 °C
Enfoque	Foco fijo	automático/manual	automático/manual	automático/manual
Campo visual	42° x 30°	32° x 23°	30° x 23°	42° x 32°
Índice de repetición de imágenes	9 Hz	33 Hz	33 Hz	33 Hz
Exactitud	± 2 °C, ± 2 % del v.m.	± 2 °C, ± 2 % del v.m.	± 2 °C, ± 2 % del v.m.	± 2 °C, ± 2 % del v.m.
Objetivos intercambiables	No	No	Teleobjetivo y súper teleobjetivo (opcional)	Teleobjetivo y súper teleobjetivo (opcional)
Modo solar	Sí	Sí	Sí	Sí
Almacenamiento de secuencias y medición de vídeo totalmente radiométrica	No	No	Sí	Sí

Cámaras termográficas, I herramienta ideal para la inspección de instalaciones fotovoltaicas.

Solo un defecto técnico pequeño es suficiente para perjudicar considerablemente el rendimiento solar, y de este modo, la rentabilidad de una instalación fotovoltaica. Existen muchas causas: Descuidos durante la instalación, degeneración de los laminados o daños paulatinos como consecuencia de la radiación UV por varios años y la intemperie. El uso de una cámara termográfica permite calcular y eliminar las causas de errores fácil y fiablemente.

La prioridad de un análisis termográfico radica en el reconocimiento de puntos calientes, los cuales solo causan pérdidas de rendimiento e incluso representan puntos peligrosos. Esta comprobación también juega un papel importante en cuestiones de derechos de garantía. Las revisiones de la cámara se ejecutan en distribuidores eléctricos para detectar puntos cableados erróneamente, por ejemplo. Además, mediante imágenes térmicas se asegura que los componentes conductores de corriente no se sobrecalienten, y que las refrigeraciones funcionen correctamente.

Las cámaras termográficas de Testo están concebidas especialmente para las exigencias en la termografía solar. Los instaladores solares pueden ofrecerles a sus clientes una valiosa prestación de servicios de posventa mientras que los titulares de la instalación obtienen una información confiable sobre el estado de su instalación solar.

Termografía solar: Aplicación y uso de un vistazo

- Detección a tiempo de defectos, prevención de pérdidas de rendimiento
- Aumento de la seguridad operativa, prevención de peligros de incendio
- Ejecución de inspecciones más rápidas y sin riesgos
- Reconocimiento de puntos calientes, módulos en circuito abierto, cortocircuitos, delaminaciones, roturas de célula, contactos corroídos y sueltos, tomas de corriente sobrecalentadas
- Creación de valores agregados para instaladores solares y titulares de la instalación

Consejos prácticos para el uso

- Medición en caso de radiaciones solares y bajas temperaturas externas
- Orientación correcta de la cámara termográfica, observación de las reflexiones
- Si es posible, ejecución de mediciones en la parte trasera
- Análisis de las causas de las desviaciones de temperatura

Selección de la cámara termográfica correcta

- Tenga en cuenta la resolución geométrica y térmica adecuada para la aplicación
- Las cámaras con objetivo intercambiable y pantalla giratoria ofrecen mayor flexibilidad
- Funciones útiles como el modo solar y la grabación de secuencias de vídeo así como el software de análisis versátil simplifican la medición y la evaluación



We measure it.



Reservado el derecho a realizar modificaciones,
también de carácter técnico.

www.testo.com

2985 4035/mrh/l/05.2017