



Co-funded by
the European Union

MÓDULO 08

PROGRAMA DE FORMACIÓN

TERMOGRAFÍA



Dirección General de Formación
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,
HACIENDA Y EMPLEO



Desarrollo de Estrategias Empresariales



Bildungszentren des
Baugewerbes e.V.



UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Índice

1. Objetivos del módulo	5
2. Termografía	6
2.1 Casos prácticos en el sector de la construcción	7
Falta de aislamiento y fugas de aire	7
Puentes térmicos	8
Localización de sistemas de calefacción por suelo radiante	8
Localización de agua en tejados planos	9
Inspección de líneas eléctricas	9
Humedad de las estructuras de ingeniería civil	10
Análisis de paneles fotovoltaicos	11
2.2 Ventajas de los drones para la termografía	13
2.3 Hardware necesario	16
Hardware - Opciones para cámaras térmicas	17
Hardware - Opciones para un dron con cámara termográfica	18
2.4 Software necesario	23
3. Contenidos del módulo - Topografía térmica con vehículos aéreos no tripulados - Teoría y práctica	25
3.1 Contenido teórico	25
3.2 Contenido práctico (prácticas de vuelo en exterior / interior si es posible)	27
Escenario de pruebas	27
Antes del vuelo	28
En vuelo	29
4. Realización de una termografía	30
4.1 Condiciones	30
Sensibilidad térmica	30
Valor de emisión	31
Reflexión	32
Inspección de módulos solares con cámaras termográficas	33
4.2 Cámara	35
4.3 Análisis de informes	36
La función imagen en imagen	36
Fusión térmica	36
Informe	37
5. Anexo a	41

DRONES4VET: participantes y autores del proyecto Erasmus+

Equipo CMQE HEREC Occitania Francia:

Régis Lequeux – profesor e ingeniero en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes – coordinador de los 10 módulos

Nicolas Privat - profesor e ingeniero en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Eric Remola – profesor de ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Nicolas Vassart - profesor y doctor en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Valerie Poplin - Directora ejecutiva de CMQE

Equipo MTU Irlanda:

Sean Carroll, profesor, ingeniero civil

Michal Otreba Inz, profesor, ingeniero civil

coordinadores de “Sesiones de Nivelación y Seguimiento para formadores”

Universidad de Ciencias aplicadas. Kufstein Tirol. Austria

Emanuel Stocker, Profesor universitario en gestión de instalaciones y bienes raíces. Coordinador del manual.

Sarah Plank, Controlador de Investigación y Desarrollo

Equipo CRN Paracuellos (DG de Formación. Comunidad de Madrid) España.

Promotores del proyecto

José Manuel García del Cid Summers, Director

Daniel Sanz, director de Dron-Arena

Santos Vera, técnico

Jorge Gómez Sal, jefe de la unidad técnica

Fernando Gutiérrez Justo. Coordinador Erasmus

BZB Düsseldorf. Alemania

Frank Bertelmann-Angenendt, director de proyecto

Markus Schilaski, director de proyecto

DEX. España

Ainhoa Pérez

Ignacio Gómez Angüelles

Diego Díaz Mori

Yvan Corbat

1. Objetivos del módulo

Este módulo le permite comprender el análisis termográfico con drones. Los objetivos de la termografía con drones incluyen la identificación de anomalías, la evaluación de las condiciones, la mejora de la eficiencia energética y la supervisión del medio ambiente. Estas aplicaciones ofrecen un medio no intrusivo, rentable y eficaz de capturar datos térmicos desde perspectivas aéreas.

Competencias deseadas

- Descripción de las partes del edificio expuestas al efecto térmico
 - Envolvente: Fachadas y cubiertas
 - Tuberías del equipo técnico del edificio
 - Sistema solar / fotovoltaico
- Identificación de los puntos débiles que influyen en el comportamiento térmico/energético del edificio,
 - Sobre
 - Control de estanqueidad
 - Sistema solar / fotovoltaico
- Análisis de imágenes termográficas
- Equipamiento / Hardware
 - UAS
 - Cámaras
- Configuración de la cámara
 - Software
- Preparación de la documentación / informes

2. Termografía

La termografía es una técnica de imagen sin contacto que utiliza la radiación infrarroja para crear representaciones visuales de las variaciones de temperatura en la superficie de un objeto o un organismo vivo. Se basa en el principio de que todos los objetos emiten radiación infrarroja en función de su temperatura.

En termografía, se utiliza una cámara especial denominada cámara termográfica o cámara de infrarrojos para captar la radiación infrarroja emitida por los objetos. La cámara detecta y mide la intensidad de la radiación infrarroja y, a continuación, la convierte en una imagen visual en la que diferentes colores o tonos representan diferentes temperaturas.

La termografía proporciona una forma no invasiva y no destructiva de visualizar las diferencias de temperatura, que puede ser útil en una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la termografía es una herramienta de diagnóstico y que no se debe confiar únicamente en ella para realizar diagnósticos definitivos. A menudo se utiliza junto con otros métodos de diagnóstico para proporcionar una evaluación más exhaustiva.

Los drones pueden utilizarse para la termografía equipándolos con cámaras termográficas especiales. Estas cámaras detectan la radiación térmica emitida por los objetos y pueden utilizarla para crear imágenes de la temperatura de la superficie de edificios y otros objetos. El piloto del dron lo dirige en la dirección deseada y activa la cámara termográfica. A continuación, el dron vuela alrededor de las zonas de interés y captura imágenes térmicas. A continuación, se transmiten a un ordenador donde pueden ser analizadas por expertos.

El análisis de imágenes térmicas puede utilizarse, por ejemplo, para identificar daños o defectos en edificios que no son visibles a simple vista. También puede utilizarse para comprobar la eficiencia energética de los edificios e identificar puntos débiles.

2.1 Casos prácticos en el sector de la construcción

La termografía basada en drones ofrece varias ventajas con respecto a los métodos tradicionales de realización de inspecciones térmicas, como la mejora de la accesibilidad, la eficacia y la seguridad.

Falta de aislamiento y fugas de aire

La termografía es un método sencillo para detectar deficiencias en los edificios, como la falta de aislamiento, el desconchamiento del yeso y la condensación.

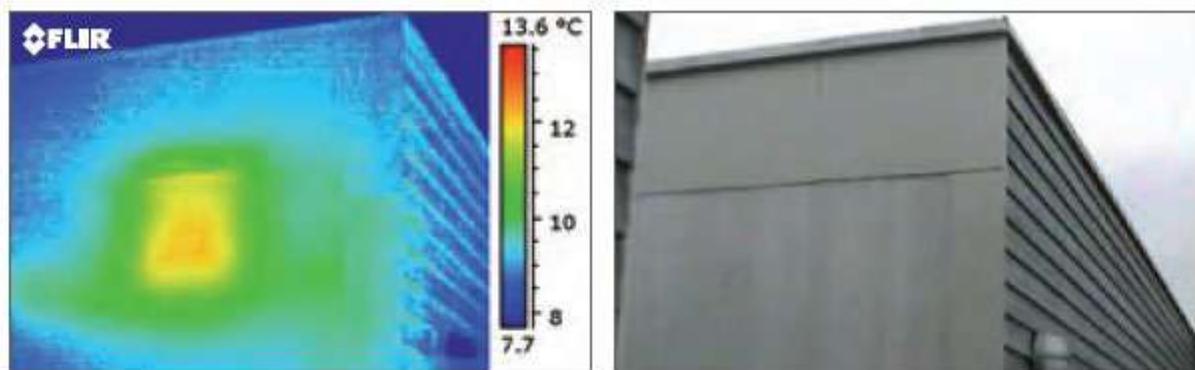


Figura 2- 1: Falta de aislamiento en la fachada (FLIR Systems)

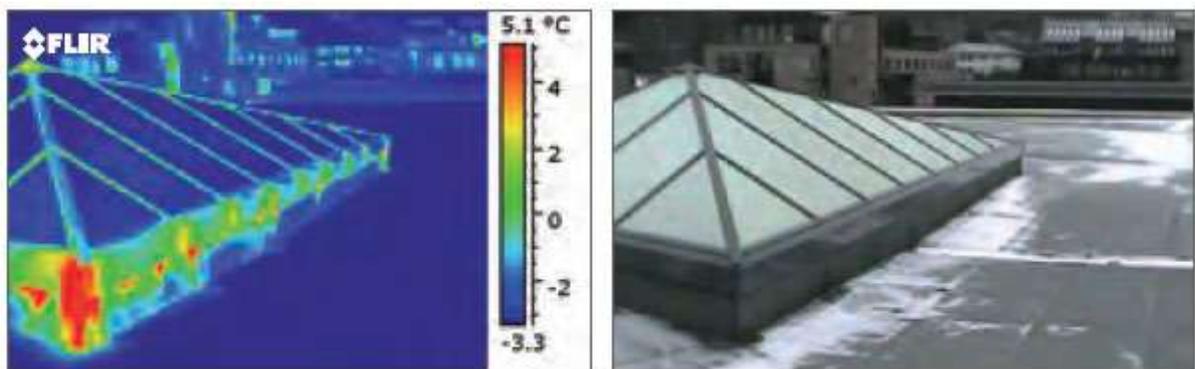


Figura 2- 2: Techo de cristal con escape de aire caliente (FLIR Systems)

Cuando se utiliza una cámara termográfica para buscar un aislamiento defectuoso o pérdidas de energía, lo ideal es que haya al menos 10 °C entre las temperaturas exterior e interior. Cuando se utiliza una cámara termográfica con una alta resolución de imagen y una alta sensibilidad térmica, la diferencia de temperatura también puede ser menor.

En climas fríos, las inspecciones de edificios suelen realizarse en invierno. En climas más cálidos, donde es importante comprobar el aislamiento para garantizar que el aire frío producido por la ventilación o el aire acondicionado permanezca en el edificio, los meses de verano son ideales para este tipo de inspección.

Puentes térmicos

Otra aplicación es, por ejemplo, la localización de puentes térmicos, que indican lugares de un edificio donde se desperdicia energía. Un puente térmico es una zona en la que la envolvente del edificio tiene una menor resistencia térmica. Esto se debe a defectos relacionados con la construcción. El calor sigue el camino más fácil desde la zona calentada al exterior, el camino de menor resistencia.

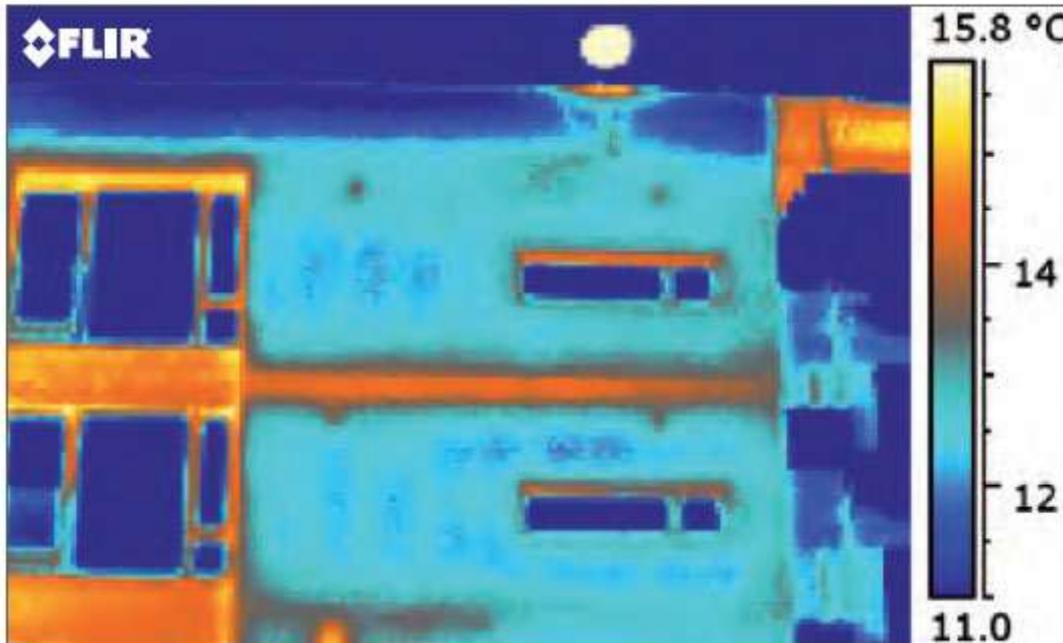


Figura 2-3: Puente térmico en el techo (FLIR Systems)

Localización de sistemas de calefacción por suelo radiante

La termografía es una técnica fácil de usar para localizar tuberías y cañerías y comprobar si hay fugas, incluso cuando las tuberías de agua están en el suelo o bajo yeso. El calor de las tuberías irradia a través de la superficie, por lo que es fácil ver el patrón de temperatura con una cámara termográfica.

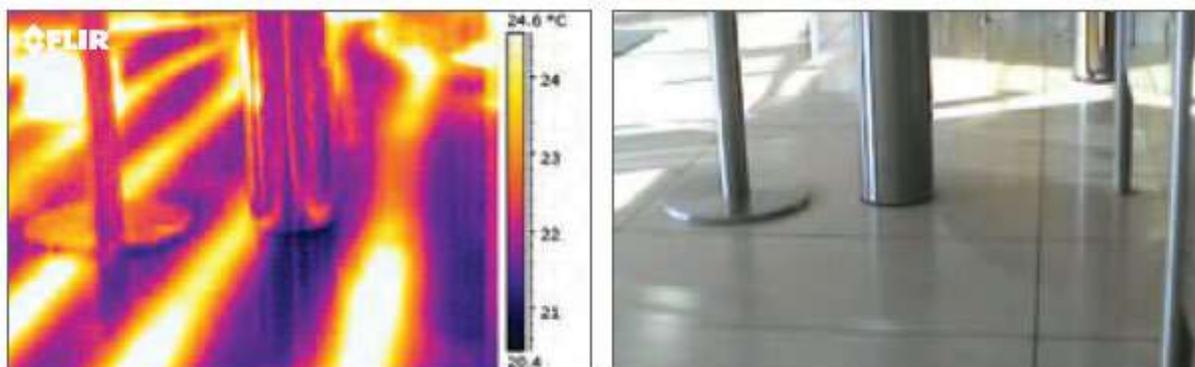


Figura 2-4: Localización del sistema de calefacción (FLIR Systems)

Localización de agua en tejados planos

La termografía también se utiliza para detectar fugas en tejados planos. El agua retiene el calor durante más tiempo que el resto del material del tejado y puede detectarse fácilmente con una cámara termográfica a última hora de la tarde o por la noche, después de que el resto del tejado se haya enfriado.

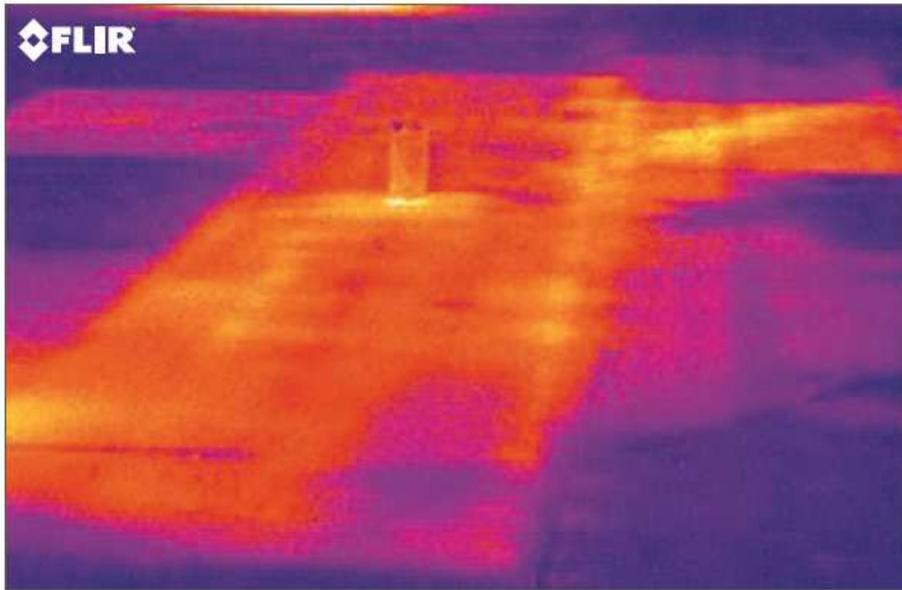


Figura 2-5: Localización agua en tejado plano (FLIR Systems)

Inspección de líneas eléctricas

Un contacto defectuoso provoca el sobrecalentamiento de conductores y contactores, o la sobretensión en cables de sección insuficiente, o la reducción de la sección del conductor debido a la corrosión o la fricción. El dron proporciona una visión segura y cercana del fenómeno.

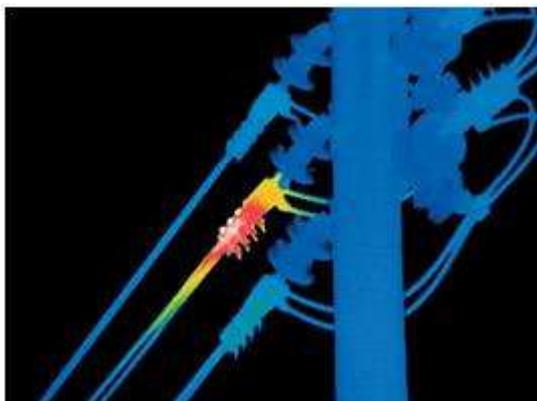


Figura 2-6: Calor en una línea defectuosa

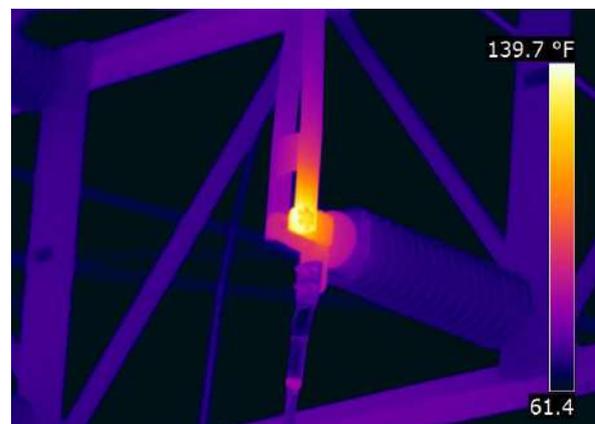


Figura 2-7: calor en contacto defectuoso

Humedad de las estructuras de ingeniería civil

La humedad en puentes, presas o muros de contención (o edificios) es un factor de patologías del hormigón, corrosión del acero o incluso pudrición de la madera. Todas las estructuras pueden verse afectadas por la humedad persistente, incluso en tiempo seco. Los análisis deben realizarse siempre después de un periodo de secado "normal", y compararse con otros componentes similares no afectados.

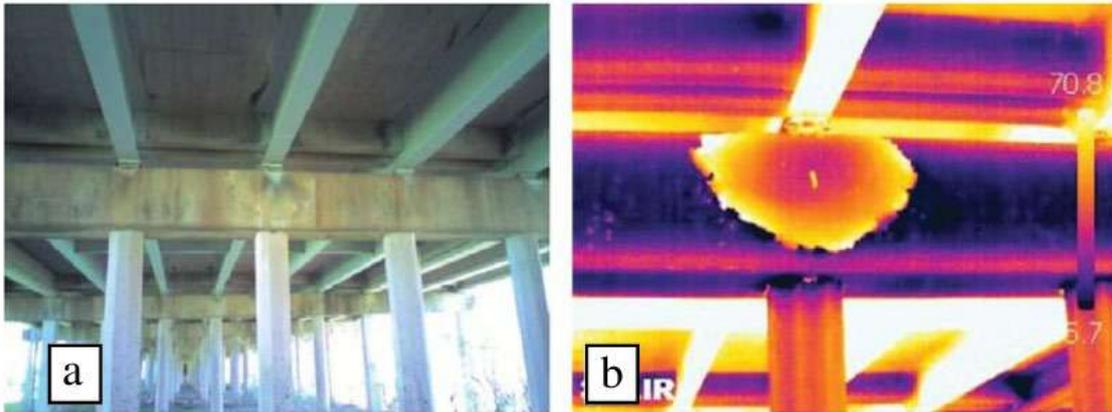


Figura 2-8: Humedad de la viga Puente (semanticscolar.org)

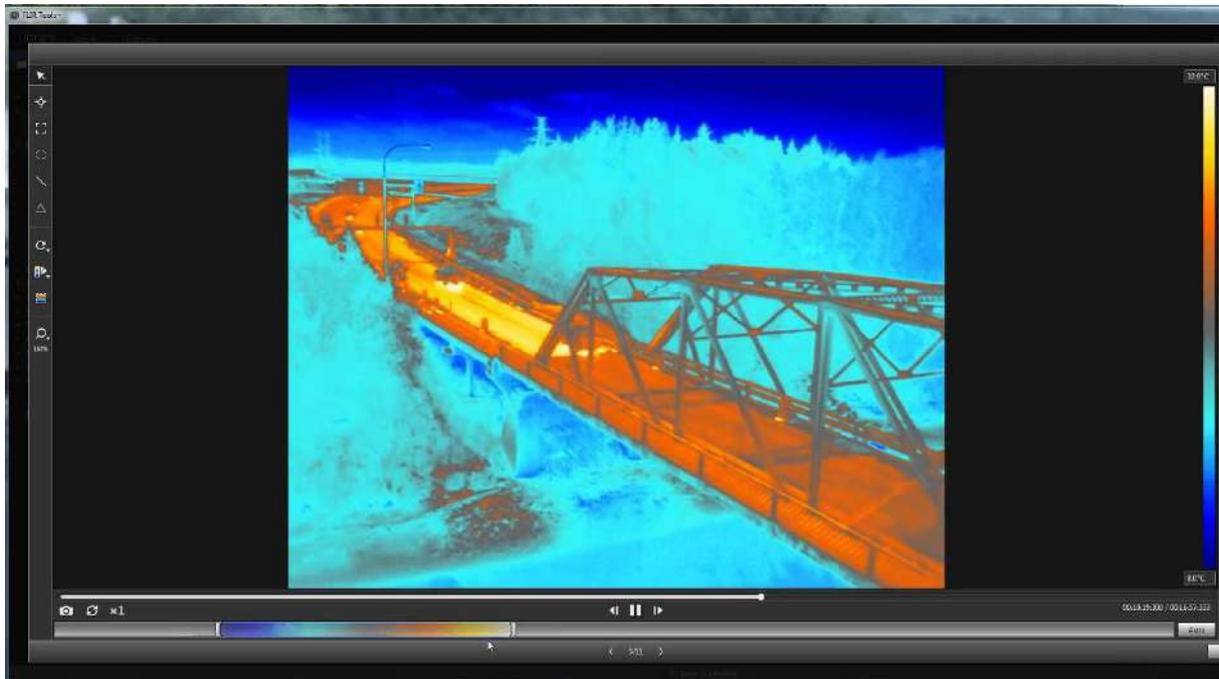


Figura 2-9: Análisis de puentes metálicos (Brunswick Engineering)

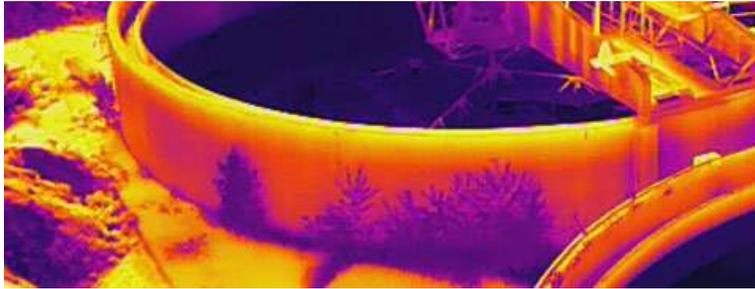


Figura 2-10: Fugas de agua en los depósitos de las depuradoras (3Dvirtual360.com.au)

Análisis de paneles fotovoltaicos

Las células que ya no están en su estado original y están rotas pueden detectarse porque están más calientes que las demás, o los contactos defectuosos están más calientes que los que tienen al lado.

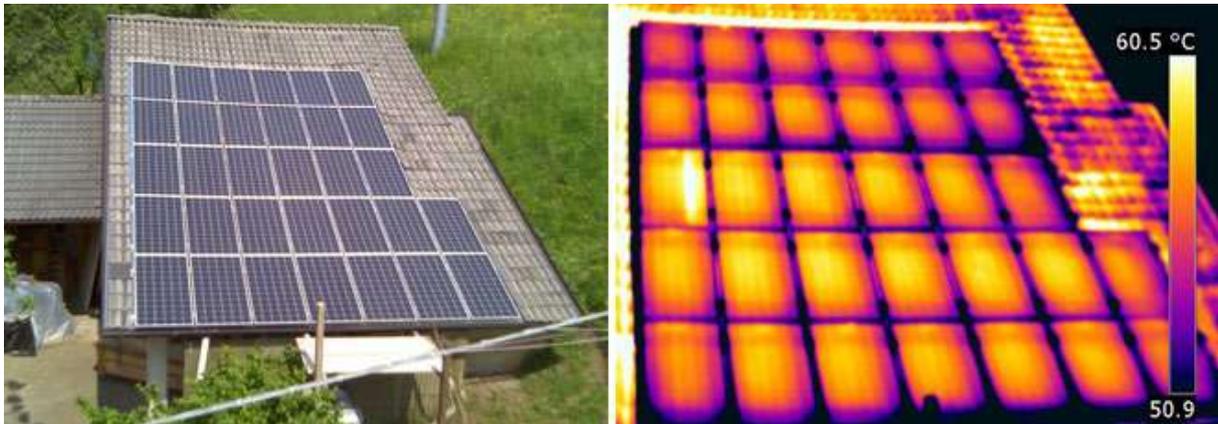


Figura 2-11: banda de células defectuosa (analistgroup.com)

Pueden producirse numerosos fallos al mismo tiempo: conexiones calientes, sobretensión en microinversores, paneles o bandas de paneles fuera de circuito...

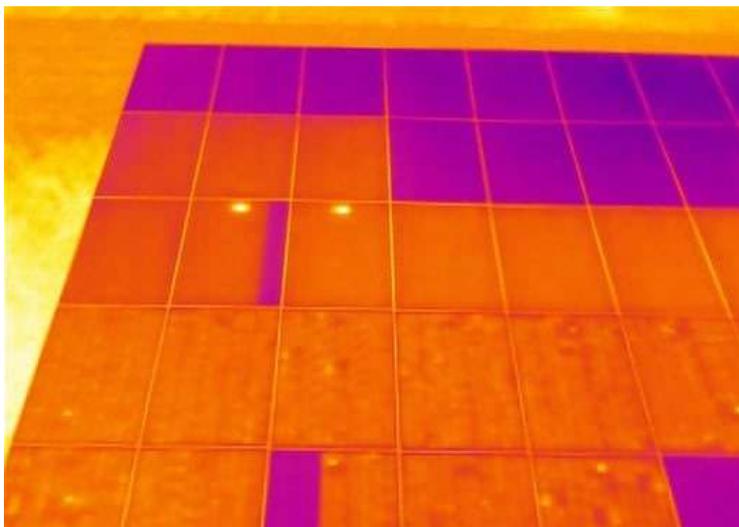


Figura 2-12: Numerosos defectos simultáneos (diagnosticphotovoltaique.fr)

Los drones, junto con una cámara térmica, pueden utilizarse para inspeccionar sistemas de calefacción urbana o tuberías con temperaturas detectables. Las ventajas incluyen la prevención de excavaciones defectuosas, la localización de tuberías y la ampliación de capas termográficas a partir de datos GIS.

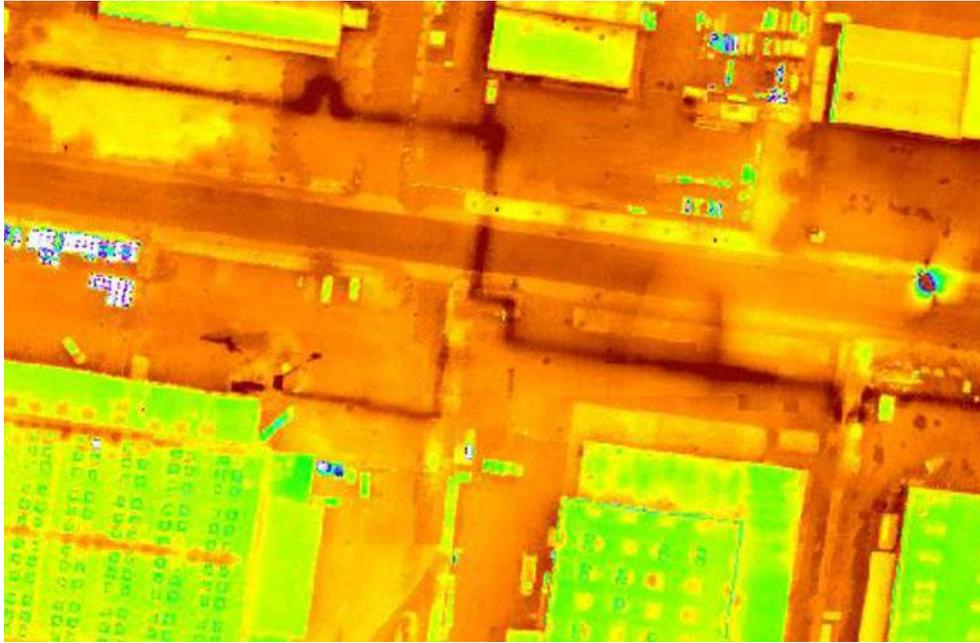


Figura 2-13: Tubería de gas frío (thermalcapture.com)

La termografía también puede utilizarse para detectar fugas y cavidades subterráneas. La aplicación en este caso es la detección de las condiciones del terreno. Se toman imágenes térmicas de la obra desde el aire, para identificar cualquier resto de construcción y eliminar posibles fuentes de peligro.

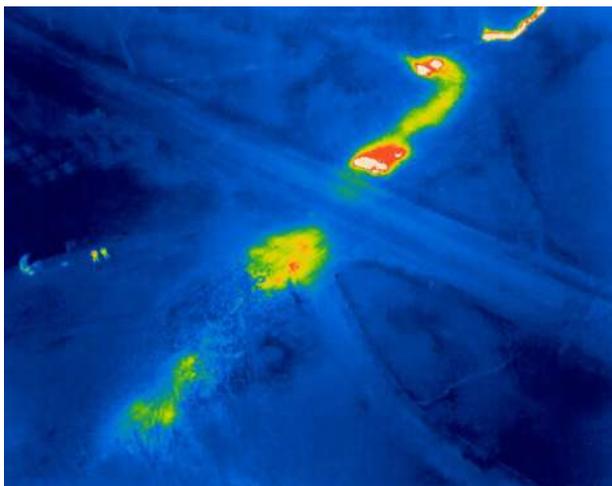


Figura 2-14: Fugas en un sistema de calefacción urbana (drone-thermal-camera.com)

Los puntos fríos en la captura de imágenes representan cavidades cuando la superficie del suelo tiene una temperatura uniforme durante el día.

2.2 Ventajas de los drones para la termografía

- **Accesibilidad:** Los drones equipados con cámaras térmicas pueden acceder a zonas de difícil o peligroso acceso para los humanos, como tejados, estructuras altas o espacios reducidos. Pueden volar rápida y fácilmente a los lugares deseados, proporcionando una visión completa de la zona.
- **Eficacia:** Los drones pueden cubrir grandes áreas en un periodo de tiempo relativamente corto, lo que permite realizar inspecciones térmicas eficientes. Pueden capturar imágenes térmicas de alta resolución o secuencias de vídeo mientras sobrevuelan una zona designada, lo que proporciona datos valiosos para el análisis.
- **Seguridad:** El uso de drones para termografía elimina la necesidad de que el personal acceda físicamente a lugares potencialmente peligrosos o de difícil acceso. Esto reduce el riesgo de accidentes o lesiones asociados a las inspecciones realizadas en altura, a temperaturas extremas o en entornos peligrosos.
- **Flexibilidad y movilidad:** Los drones son altamente maniobrables y pueden navegar a través de entornos complejos, proporcionando flexibilidad en la captura de datos térmicos desde diferentes ángulos y perspectivas. Pueden ajustar fácilmente su trayectoria de vuelo o altitud para centrarse en áreas específicas de interés.
- **Recogida y análisis de datos:** Las cámaras térmicas montadas en drones capturan imágenes infrarrojas que pueden utilizarse para identificar anomalías de temperatura y patrones de calor. Los datos recopilados pueden analizarse para detectar ineficiencias energéticas, problemas de aislamiento o averías de equipos en edificios, líneas eléctricas, paneles solares y otras infraestructuras.
- **Integración con software de cartografía:** La termografía con drones puede integrarse en software de cartografía y sistemas de información geográfica (SIG), para crear mapas térmicos detallados o modelos en 3D. Esto permite una georreferenciación precisa y un análisis espacial de los datos térmicos, lo que facilita la toma de decisiones y la planificación.

En general, los drones ofrecen una plataforma versátil y eficaz para realizar termografías aéreas, lo que permite mejorar la recopilación y el análisis de datos en diversos sectores, como la construcción, la energía, la agricultura y el mantenimiento de infraestructuras.

La termografía pasiva o activa puede hacer visibles estructuras que no son visibles para las cámaras visuales. Por ejemplo, se puede hacer visible la delaminación en mampostería en bolsas de aire o materiales compuestos. Esto es posible sin dañar la superficie. La termografía con drones se utiliza en la detección de fugas, la termografía de edificios y plantas, la inspección fotovoltaica, los sistemas de eficiencia energética y la detección en ciudades inteligentes.

Los drones, junto con el apoyo de una cámara termográfica, permiten inspeccionar la calefacción urbana. Sus ventajas son la prevención de excavaciones defectuosas, la localización de tramos de tuberías y la ampliación de capas termográficas a partir de datos GIS.

Otro campo de aplicación es la visualización de flujos en paredes de edificios, así como en sistemas de tuberías. La detección de corrientes de convección en fachadas de edificios es relevante para la detección de humedad. La termografía puede utilizarse para detectar puentes térmicos al comprobar el aislamiento térmico.

También pueden detectarse los efectos del flujo debidos a la evaporación de la película. Se pueden detectar obstrucciones en los sistemas de tuberías, así como fugas y diferencias en la velocidad del flujo.

La termografía también puede utilizarse para detectar fugas y cavidades subterráneas. La aplicación en este caso es la detección de las condiciones del terreno. Se toman imágenes térmicas de la obra desde el aire para identificar restos de construcción y eliminar posibles fuentes de peligro.

Los puntos fríos en la captura de imágenes representan huecos cuando la superficie del suelo tiene una temperatura transversal durante el día. La termografía de drones se utiliza en el control del aire de los sistemas fotovoltaicos. Se pueden detectar las células que ya no están en su estado original y que están rotas. Lo mismo ocurre con las fugas en las tuberías de calefacción urbana.

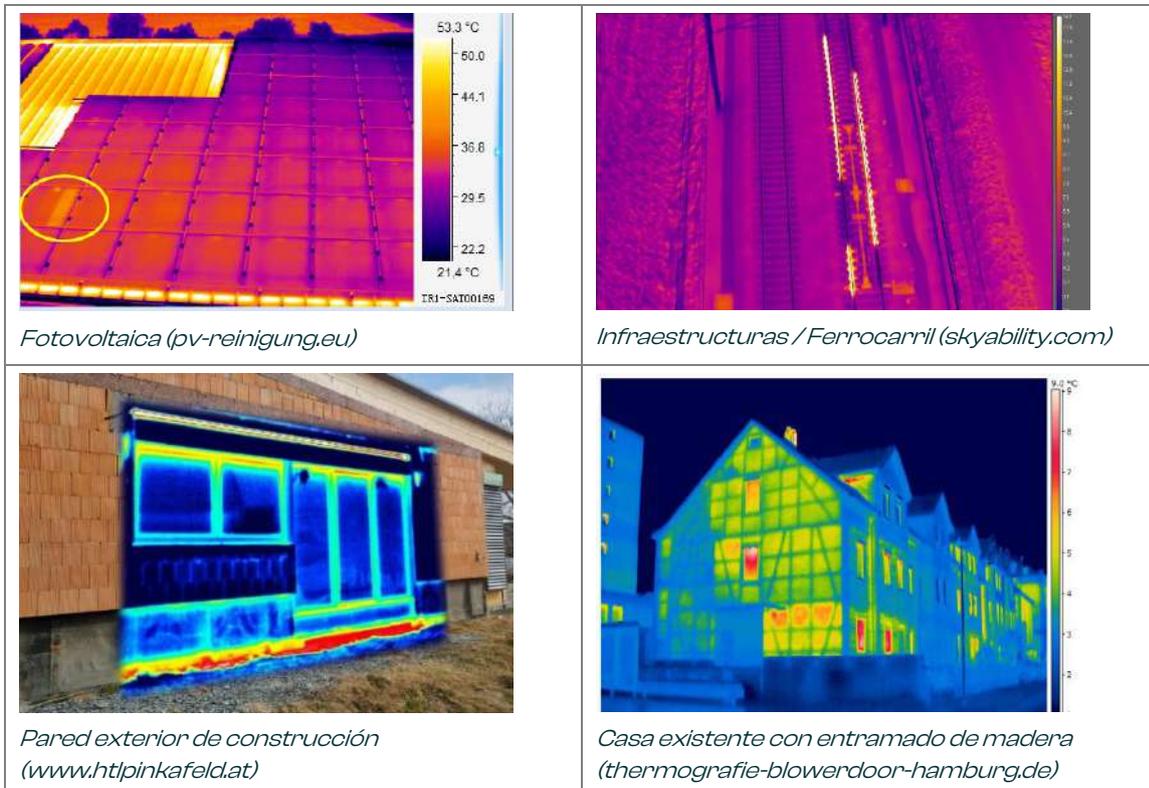


Figura 2- 15 Ejemplos con drones y termografía

El significado de los colores está definido. El rojo ilustra las zonas cálidas del edificio, mientras que el azul representa las zonas más frías. Las temperaturas de la zona intermedia se muestran en amarillo y verde, por lo que de nuevo existe la gradación entre el verde, algo más frío, y el amarillo, que representa más calor. La termografía muestra fugas en la envolvente del edificio, el tejado, las ventanas o las puertas.

2.3 Hardware necesario

En lo que respecta a la termografía con drones, existen requisitos de hardware específicos que deben tenerse en cuenta para garantizar la obtención de imágenes térmicas precisas y fiables. Estos son los principales componentes de hardware que suelen utilizarse en la termografía con drones:

- El dron: Seleccionar un dron adecuado para la termografía es crucial. Entre los factores a tener en cuenta se incluyen la estabilidad de vuelo, la capacidad de carga útil, el tiempo de vuelo y la capacidad de integración con cámaras térmicas. Entre las opciones más populares se encuentran las series DJI Phantom, DJI Mavic y DJI Inspire, ya que ofrecen características de vuelo estables y pueden acomodar varias cargas útiles.
- Cámara térmica: Elegir la cámara térmica adecuada es esencial para obtener mediciones de temperatura precisas e imágenes térmicas detalladas. Busque cámaras con alta resolución térmica, rango de temperatura y sensibilidad.



- Cardán y montaje: Un cardán es un sistema de estabilización que garantiza que la cámara térmica se mantenga estable durante el vuelo, minimizando las vibraciones y manteniendo la calidad de la imagen. El dron debe contar con un cardán o sistema de montaje compatible para acoplar y estabilizar la cámara termográfica.
- Control e integración de la cámara: El controlador de vuelo del dron debe permitir una integración perfecta con la cámara térmica, permitiendo el control de funciones de la cámara como la captura de imágenes, la grabación de vídeo y la calibración de la temperatura. Asegúrese de que el software o firmware del dron es compatible con el modelo específico de cámara térmica que pretende utilizar.
- Transmisor y receptor: Los drones para termografía requieren de un sistema fiable de transmisor y receptor para la transmisión de vídeo en tiempo real y el control remoto. Permite al operador ver las imágenes térmicas en directo y ajustar los parámetros de vuelo según sea necesario.
- Batería y gestión de la alimentación: Una capacidad adecuada de la batería es crucial para garantizar un tiempo de vuelo suficiente para llevar a cabo misiones de termografía. Considere la posibilidad de tener baterías de repuesto a mano para maximizar la eficiencia operativa. Además, un sistema de gestión de energía

puede ayudar a supervisar los niveles de batería y proporcionar alertas para sustituir o recargar la batería a tiempo.

- Almacenamiento y transmisión de datos: Los drones generan una cantidad significativa de datos de imágenes térmicas. Asegúrese de que el dron tiene suficiente capacidad de almacenamiento a bordo o la capacidad de transmitir los datos de forma inalámbrica a una estación terrestre para su almacenamiento y análisis.
- Estación terrestre y pantalla: Una estación terrestre se utiliza normalmente para controlar el vuelo del dron, supervisar las imágenes térmicas en tiempo real y gestionar la planificación de la misión. Consta de un controlador, un monitor o un dispositivo móvil para ver las imágenes térmicas en directo e interactuar con la interfaz de control del dron.

Es importante tener en cuenta que los requisitos específicos de hardware pueden variar en función de la aplicación prevista, la complejidad de las inspecciones térmicas y el nivel deseado de precisión de los datos. Consultar a expertos o termógrafos de drones experimentados puede proporcionar información valiosa para seleccionar los componentes de hardware más adecuados para sus necesidades específicas.

Hardware - Opciones para cámaras térmicas

Cuando se trata de cámaras de drones para termografía, hay varias opciones disponibles que se pueden utilizar para capturar imágenes térmicas y realizar inspecciones termográficas. Compruebe la compatibilidad y las respectivas capacidades de carga útil en cada caso. Estas son algunas de las opciones de cámaras de drones para termografía más utilizadas:

- FLIR Vue Pro: La FLIR Vue Pro, es una popular opción de cámara térmica para drones. Ofrece diferentes opciones de resolución (por ejemplo, 336x256 o 640x512) y varias opciones de lentes para satisfacer diferentes necesidades. La Vue Pro es conocida por su alta sensibilidad térmica y su capacidad para capturar datos de temperatura precisos.
DJI Zenmuse XT2: La DJI Zenmuse XT2, es una cámara de doble sensor que combina una cámara visual con una cámara térmica FLIR Boson. Proporciona imágenes térmicas de alta resolución y puede capturar imágenes térmicas y visuales simultáneamente. La Zenmuse XT2 ofrece funciones avanzadas de imagen térmica e integración con las plataformas de drones de DJI. Sería adecuada para el modelo de dron Matrice 300 / 350 RTK.
- FLIR Duo Pro R: La FLIR Duo Pro R, es una cámara de doble sensor que combina una cámara térmica con una cámara visible de alta resolución. Proporciona imágenes térmicas radiométricas, lo que permite realizar mediciones y análisis de temperatura precisos. La Duo Pro R es conocida por su tamaño compacto y su fácil integración con drones.
- Workswell WIRIS Pro: La Workswell WIRIS Pro, es una cámara termográfica de calidad profesional diseñada específicamente para drones. Ofrece un sensor térmico de alta resolución y varias opciones de lentes para proporcionar imágenes térmicas detalladas. La WIRIS Pro también cuenta con funciones como

la integración de GPS e IMU para una geolocalización precisa de los datos térmicos.

- **TeAx ThermalCapture:** TeAx ThermalCapture, es una solución de imágenes térmicas que puede integrarse con varias plataformas de drones. Incluye componentes de hardware y software que permiten capturar imágenes térmicas radiométricas y realizar el posprocesamiento y análisis de los datos térmicos.
- **Yuneec E20Tvx** para hexacóptero H520E H850 640 x 512

Es importante tener en cuenta que la compatibilidad de estas cámaras puede variar en función de la plataforma específica del dron y del modelo de cámara. Antes de adquirir una cámara térmica para termografía con drones, asegúrese de que es compatible con su dron y de que dispone de las opciones de montaje e integración necesarias. Además, tenga en cuenta factores como la resolución térmica, la sensibilidad, las capacidades de grabación de datos y la posibilidad de calibrar y analizar los datos térmicos para elegir la cámara que mejor se adapte a sus necesidades específicas y a su presupuesto.

Hardware - Opciones para un dron con cámara termográfica

A continuación se muestran algunos drones con funcionalidad de termografía. La recopilación incluye una selección de drones comunes. La recopilación no pretende ser completa.

DJI Mavic 3T (Térmico)

Este dron compacto y portátil combina una cámara visual de alta resolución con una cámara térmica FLIR Lepton. Ofrece una configuración de doble sensor, lo que le permite capturar imágenes de luz visible y térmicas simultáneamente. El Mavic 2 Enterprise Dual es adecuado para diversas aplicaciones, como inspecciones, seguridad pública y operaciones de búsqueda y rescate.

Especificaciones:

- 45 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 920 g
- Resolución de la cámara termográfica 640 x 512 píxeles
- Evitación de obstáculos
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox 5.500



Figura 2- 18 DJI Mavic 3T (store.dji.com)

DJI Matrice 30 T

El DJI Matrice M30 es un dron muy potente para tareas de inspección exigentes en todo tipo de estructuras. Es capaz de operar incluso en condiciones meteorológicas adversas de hasta aproximadamente -20°C y en condiciones de iluminación difíciles, ofreciendo tomas impresionantes con su cámara gran angular de 12 MP y una cámara de 48 MP con zoom óptico de hasta 16x. Un telémetro láser con un alcance de hasta 1.200 m permite determinar fácilmente la distancia.

Especificaciones:

- 41 minutos máx. de vuelo posible
- Peso: 3.770 g
- Resolución de la cámara termográfica 640 x 512 píxeles
- Evitación de obstáculos
- Telémetro láser con alcance de 3 m a 1.200 m
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox. 12.500



Figura 2-19 DJI Matrice 30 T (w.grube.at)

DJI Matrice 350 RTK

Diseñado para aplicaciones comerciales e industriales, el Matrice 350 RTK es un dron versátil que puede equiparse con cámaras térmicas como la Zenmuse XT2. Ofrece capacidades de vuelo avanzadas, tiempos de vuelo más largos y una sólida capacidad de carga útil. Las opciones de cámara térmica proporcionan una alta sensibilidad térmica y funciones analíticas avanzadas para inspecciones y cartografía detalladas.

Especificaciones:

- 55 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 3.770 g (sin carga útil ni batería)
- Evitación de obstáculos
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox. 13.500 € (sin la cámara)



Figura 2-20 DJI Matrice 350 (dron.ee)

Yuneec H520E-SpecCombo Hexacopter RtF

El Yuneec H520 E es un dron de categoría profesional que puede integrarse con la cámara térmica E20T. Cuenta con una cámara térmica radiométrica con ajustes de rango de temperatura ajustables y mediciones de temperatura precisas. El H520 es conocido por su estabilidad, rendimiento de vuelo fiable y capacidades avanzadas de planificación de vuelo.

Especificaciones:

- 25 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 1.860 g
- Resolución de la cámara termográfica 1344 x 759 píxeles
- Evitación de obstáculos
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox 5.500



Figura 2- 21 Yuneec H520E (shop.yuneec.com)

FLIR SkyRanger R70

Este dron robusto y resistente a la intemperie está diseñado específicamente para aplicaciones industriales. Puede integrarse con la cámara térmica FLIR Vue Pro R, que ofrece imágenes térmicas de alta resolución. El SkyRanger R70 ofrece largos tiempos de vuelo, funciones avanzadas de control de vuelo y es adecuado para diversos sectores, como inspecciones de infraestructuras, energía y seguridad pública.

Especificaciones:

- 40/59 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 5.000 g
- Resolución de la cámara termográfica StormCaster-T: 640 x 512 píxeles
- Precio: sin información



Figura 2-22 FLIR SkyRanger R70 (www.flir.eu)

Parrot Anafi Térmico

El Parrot Anafi Thermal es un dron diseñado específicamente para aplicaciones de imagen térmica. Es un cuadricóptero compacto y ligero que combina una cámara visual de alta resolución con una cámara térmica FLIR Lepton integrada.

Especificaciones:

- 25 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 315 g
- Resolución de la cámara termográfica 160 x 120
- No Evitación de obstáculos
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox. 2.500



Figura 2-23 Parrot Anafi Thermal (www.parrot.com)

Parrot Anafi EE.UU.

El Parrot Anafi Thermal es un dron diseñado específicamente para aplicaciones de imagen térmica. Es un cuadricóptero compacto y ligero que combina dos cámaras visuales de alta resolución (zoom) con una cámara térmica FLIR Boson integrada.

Especificaciones:

- 32 minutos de tiempo de vuelo posible
- Peso: 496 g
- Resolución de la cámara termográfica 320 x 256
- No Evitación de obstáculos
- Zoom 32x
- IP53
- Precio: aprox 8.000



Figura 2-24 Parrot Anafi USA (drohnen.de)

Autel EVO II Dual 640T

El Autel Evo II Dual es un dron plegable que viene equipado con una cámara visual y una cámara térmica FLIR Boson. Ofrece una cámara visual de 48 megapíxeles y una cámara térmica con una resolución de 640x512, proporcionando imágenes detalladas. El Evo II Dual es conocido por su versatilidad y facilidad de uso, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, incluidas las inspecciones y la seguridad pública.

Especificaciones:

- 38 minutos de vuelo máximo posible
- Peso: 1.110 g
- Resolución de la cámara termográfica 640 x 512
- Evitación de obstáculos
- Adecuado para la inspección térmica de edificios, así como para la inspección de sistemas fotovoltaicos
- Precio: aprox 5.500



Figura 2-25 Autel EVO II Dual 640T
(shop.autelrobotics.com)

Volabilidad Elios 3

El Flyability Elios 3 es un dron especializado en inspecciones de interiores diseñado para espacios confinados y complejos. Se utiliza principalmente para inspecciones industriales en áreas como centrales eléctricas, instalaciones de petróleo y gas, obras de construcción e infraestructuras. El Elios 3 es conocido por su robustez y capacidad para resistir colisiones, lo que lo hace adecuado para inspecciones en entornos difíciles.

Especificaciones:

- 10 minutos
- Peso: 1.800 g
- Sistema de iluminación
- Evitación de obstáculos
- Sensor Lidar
- GPS Flyware para interiores
- Adecuado para la inspección térmica interior de edificios
- Precio: aprox. 50.000



Figura 2-26 Flyability Elios 3 (halorobotics.com)

2.4 Software necesario

Existen varias opciones de software para procesar y analizar imágenes térmicas captadas por drones con fines termográficos. Estas soluciones de software ayudan a extraer información valiosa de los datos térmicos, generar informes y realizar diversas tareas de análisis. Estas son algunas de las opciones de software más populares para la termografía con drones:

- **Herramientas FLIR:** FLIR Tools es un paquete de software proporcionado por FLIR Systems, uno de los principales fabricantes de cámaras termográficas. Permite a los usuarios importar, analizar y generar informes a partir de imágenes térmicas captadas por cámaras FLIR, incluidas las montadas en drones. FLIR Tools ofrece funciones como la medición de la temperatura, la mejora de imágenes y herramientas de análisis personalizables.
- **Pix4Dmapper:** Pix4Dmapper es un software de fotogrametría que puede procesar tanto imágenes visuales como térmicas captadas por drones. Permite crear modelos 3D precisos, ortomosaicos y mapas térmicos a partir de las imágenes captadas. Pix4Dmapper ofrece funciones avanzadas de análisis, como mediciones volumétricas, análisis de temperatura y detección de cambios a lo largo del tiempo.
- **DroneDeploy:** DroneDeploy es una plataforma de software basada en la nube que admite el análisis de imágenes térmicas. Permite a los usuarios cargar, procesar y analizar imágenes térmicas captadas por drones. DroneDeploy proporciona herramientas para crear mapas térmicos, realizar análisis de temperatura y generar informes personalizables. También ofrece integración con plataformas de drones populares y cuenta con funciones de colaboración para proyectos en equipo.
- **FLIR Tools+ o ResearchIR:** FLIR Tools+ y FLIR ResearchIR son opciones avanzadas de software de termografía proporcionadas por FLIR Systems. Estos paquetes de software están diseñados para tareas de análisis termográfico más complejas. Ofrecen funciones avanzadas como corrección de emisividad, análisis de lapso de tiempo, posprocesamiento de datos radiométricos y funciones avanzadas de generación de informes.
- **Mapas Raptor:** Raptor Maps es una plataforma de software centrada específicamente en el análisis de imágenes térmicas para inspecciones de paneles solares. Proporciona herramientas para detectar defectos, clasificar problemas y generar informes detallados. Raptor Maps ofrece algoritmos de análisis automatizados y se integra con varias plataformas de drones y cámaras térmicas utilizadas habitualmente para inspecciones solares.
- **DJI Thermal Analysis Tool 3.0:** puede utilizarse para analizar y procesar imágenes térmicas. Al identificar la información de temperatura de zonas críticas del objetivo, el software puede utilizarse para analizar objetos en numerosas aplicaciones industriales.

Estos son solo algunos ejemplos de las opciones de software disponibles para la termografía con drones. La elección del software depende de sus necesidades específicas, del tipo de análisis que requiera y de la compatibilidad con su dron y su cámara termográfica. Es aconsejable explorar las características y capacidades de las distintas opciones de software, considerar los requisitos específicos de su aplicación y seleccionar el software que mejor se adapte a sus necesidades.

3. Contenidos del módulo - Topografía térmica con vehículos aéreos no tripulados - Teoría y práctica

3.1 Contenido teórico

He aquí algunos contenidos teóricos relacionados con la termografía:

Visión general, incluyendo:

- Relevancia de los drones en el sector de la construcción y frecuencia de uso, áreas.
- Requisitos para la realización general como el viento y las influencias meteorológicas, la estación del año con sus temperaturas y la hora del día. Por lo tanto, es importante que haya luz durante el día y que las condiciones meteorológicas sean buenas; de lo contrario, esto afectará negativamente a la calidad y a la posibilidad de realización. Así, la lluvia y la tormenta son inadecuadas para la puesta en práctica. La estación del año también influye, ya que la zona debe estar libre de nieve o de hojas otoñales y no estar sobrecalentada por una luz solar demasiado intensa ni por temperaturas demasiado altas en verano. Además, una superficie seca no provoca distorsiones en el resultado.
- Costes de adquisición y diferencias aproximadas entre modelos (qué funciones son esenciales para qué).

Termografía, incluyendo:

- Radiación infrarroja y temperatura:
 - Radiación infrarroja (IR): La radiación infrarroja es una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda más largas que las de la luz visible. La radiación infrarroja es emitida por todos los objetos cuya temperatura es superior al cero absoluto (0 Kelvin = -273,15°C). Es invisible para el ojo humano.
 - Emisividad: La emisividad es la medida de la capacidad de un objeto para emitir radiación infrarroja. Varía con las propiedades del material y el estado de la superficie. Dado que la emisividad cambia con la temperatura y las características de la superficie, los valores aquí indicados son sólo indicativos. Para medir la temperatura absoluta con precisión, debe determinarse con exactitud la emisividad del material.

Material	Emisividad
Aluminio	0.05
Ladrillo	0.91
Hormigón	0.93
Arenisca	0.67
Latón oxidado	0.61
Porcelana	0.92
Acero oxidado	0.79

Cuadro 3-1: Emisividad de algunos materiales

- Radiación de cuerpo negro: Un cuerpo negro es un objeto idealizado que emite y absorbe toda la radiación incidente. Sigue la ley de Planck, que describe la distribución espectral de la radiación emitida por un cuerpo negro a una temperatura dada.
- Cámaras termográficas:
 - Funcionamiento: Las cámaras termográficas detectan y miden la radiación infrarroja emitida por los objetos. Constan de un detector de infrarrojos, una óptica y un sistema electrónico de procesamiento de imágenes.
 - Sensibilidad térmica: La sensibilidad térmica se refiere a la diferencia de temperatura más pequeña que puede detectar una cámara. Sensibilidad térmica es un término sinónimo de Diferencia de Temperatura Equivalente al Ruido (NETD), que denota la menor diferencia de temperatura detectable cuando se utiliza un dispositivo térmico. Este valor, que suele medirse en miliKelvin (mK), funciona como un índice de ruido electrónico para el sistema.
Lo ideal es una cámara térmica con el mK más bajo posible. Una NETD más baja implica que el sensor puede captar con mayor eficacia variaciones de temperatura mínimas. Por el contrario, una NETD más alta compromete la claridad de la imagen, lo que afecta negativamente al rendimiento analítico y a la visibilidad, especialmente en condiciones meteorológicas adversas.
- Principios de la imagen térmica:
 - Modos de transferencia de calor: El calor puede transferirse por conducción, convección y radiación. La termografía se centra principalmente en la transferencia de calor por radiación.
 - Anomalías térmicas: Las anomalías térmicas se refieren a variaciones o irregularidades de temperatura que pueden indicar problemas como fugas de calor, fallos eléctricos o averías mecánicas.
- Inspecciones termográficas:

- Aplicaciones: La termografía se utiliza ampliamente en diversos campos, como las inspecciones de edificios para detectar ineficiencias energéticas, las inspecciones eléctricas para identificar componentes sobrecalentados y las inspecciones mecánicas para controlar el rendimiento de los equipos.
- Factores ambientales: Las condiciones ambientales, como la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire, pueden influir en las inspecciones termográficas y deben tenerse en cuenta durante la interpretación de los datos.
- Buenas prácticas: La calibración adecuada de la cámara, el ajuste de la emisividad y las mediciones precisas de la distancia son esenciales para realizar inspecciones termográficas fiables.
- Análisis de datos e informes:
 - Análisis de imágenes: Las herramientas de software se utilizan para analizar las imágenes térmicas, incluida la medición de la temperatura, el perfilado de la temperatura y la detección de anomalías.
 - Informes: Los informes de termografía suelen incluir imágenes visuales y térmicas, datos de temperatura, anotaciones y recomendaciones para acciones posteriores.

Es importante señalar que la termografía es un campo especializado que requiere amplios conocimientos teóricos y experiencia práctica para interpretar con precisión las imágenes térmicas.

3.2 Contenido práctico (prácticas de vuelo en exterior / interior si es posible)

La experiencia práctica en termografía con drones implica la aplicación de los conocimientos teóricos de termografía a escenarios del mundo real utilizando drones equipados con cámaras térmicas. Estos son algunos aspectos de la experiencia práctica en termografía con drones:

Escenario de pruebas

Las ilustraciones basadas en autoexperimentos o demostraciones realizadas primero por un profesional y luego probadas por las personas interesadas también son posibles en el interior de una sala, sujetando el dispositivo contra un puente térmico y observando el cambio. El proceso está dictado por una secuencia predefinida, marcada en el plano. Las líneas indican los pasos para aprovechar al máximo las diferencias de temperatura. Para ello, se colocan en distintos puntos del vestíbulo aparatos que influyen en la temperatura, como un frigorífico y un congelador, un ventilador de calefacción, un calefactor radiante, un aparato de aire acondicionado y un utensilio doméstico eléctrico, que irradian su temperatura. Estos puntos se seleccionan uno tras otro para ilustrar los efectos que producen. En el exterior también es posible y podría

mostrarse a través de los dispositivos ya mencionados, así como a través de las paredes de la casa, el sistema de ventilación y las partes de construcción del edificio.

Antes del vuelo

Planificación de vuelos - Drones:

Una medición termográfica debe realizarse siempre en invierno, durante la temporada de calefacción. Debe haber una diferencia de temperatura de al menos doce a quince grados centígrados entre el ambiente interior y el exterior. La termografía debe tomarse a más tardar por la mañana. Durante el día y la noche, las partes del edificio investigadas pueden calentarse con el sol, lo que podría distorsionar los resultados de la medición. El edificio debe calentarse uniformemente antes y durante la medición. Las ventanas deben permanecer cerradas una hora antes y durante la sesión termográfica.

- Antes de volar el dron, el piloto tiene que identificar la zona / construcción que tiene que ser inspeccionada termográficamente.
- Comprueba las condiciones meteorológicas para asegurarte de que el dron puede volar. Evite volar con vientos fuertes, lluvia o temperaturas extremas. Lo mismo para el humo, el polvo y los escombros.
- Inspeccionar la zona in situ para identificar obstáculos, peligros potenciales y lugares adecuados para el despegue y el aterrizaje.
- Planifique la ruta de vuelo y la altitud en función de los requisitos de inspección, las especificaciones del dron y las condiciones ambientales.
- La trayectoria de vuelo debe cubrir toda la zona de interés, y la altitud debe optimizarse para captar imágenes térmicas claras y detalladas.

Ajustes de la cámara:

- Los ajustes de la cámara, como el rango de temperatura, la emisividad y la paleta, deben optimizarse para capturar imágenes térmicas precisas y fiables.
- El piloto debe ajustar la configuración de la cámara en función del tipo de inspección y del material que se esté inspeccionando.

Otros factores a considerar relacionados con la captura de IR:

- Parámetros a tener en cuenta
 - Emisividad
 - Transparencia
 - Reflectividad
 - Pintar sobre un objeto
 - Vidrio
 - Distancia del objetivo
 - Ángulo de visión
 - Rugosidad o suavidad de la superficie
- Cantidad de energía térmica
- Drone - cargas útiles a tener en cuenta

En vuelo

Adquisición de imágenes:

- El dron debe volar a una velocidad y altitud constantes/programadas para capturar imágenes térmicas claras y detalladas.
- El piloto debe asegurarse de que la cámara termográfica captura imágenes con suficiente solapamiento para permitir una unión precisa de las imágenes durante el posprocesamiento.

Análisis de datos:

- Tras capturar las imágenes térmicas, es necesario analizar los datos para identificar cualquier anomalía térmica o variación de temperatura.
- Se pueden utilizar herramientas de software como FLIR Tools o la herramienta de análisis térmico de DJI para analizar imágenes térmicas y generar informes.

Informar:

- El informe del análisis térmico debe incluir imágenes visuales y térmicas, datos de temperatura, anotaciones y recomendaciones para acciones posteriores.
- El informe debe elaborarse de forma clara y concisa, para que las partes interesadas puedan entenderlo fácilmente y actuar en consecuencia.

4. Realización de una termografía

4.1 Condiciones

La condición básica para la termografía de la envolvente exterior del edificio se da siempre cuando un flujo de calor forzado por diferencias de temperatura fluye lo más constante posible en el tiempo. Este flujo de calor genera entonces temperaturas superficiales localmente diferentes debido a las resistencias térmicas localmente diferentes de los componentes que fluyen, que son registradas por la cámara termográfica. Para garantizar esto, un consultor energético debe respetar una serie de criterios importantes a la hora de realizar una termografía. El incumplimiento de estos criterios podría dificultar la interpretación o llevar a conclusiones incorrectas. El punto más importante es el clima. Dado que las diferencias de temperatura desempeñan un papel fundamental en la medición, el invierno es la estación ideal para la termografía.

En teoría, la termografía desde el exterior puede realizarse independientemente de la hora del día, siempre que no haya demasiada luz (< 1500 lux). Por lo tanto, el asesor energético toma las imágenes termográficas principalmente por la mañana, ya que todas las superficies iluminadas por el sol aún no están demasiado soleadas. La luz solar también puede interferir en las imágenes interiores, a pesar de la gran inercia térmica del tejido del edificio, al incidir el sol en las ventanas.

Por otro lado, se recomienda realizar la termografía cuando el cielo está completamente nublado, ya que entonces la temperatura en la base de la nube casi se corresponde con la temperatura ambiente y, por lo tanto, existe un equilibrio casi perfecto y los efectos de radiación, así como de sombra, están casi completamente ausentes.

Sensibilidad térmica

La sensibilidad térmica describe la pequeña diferencia de temperatura que puede detectar la cámara. Cuanto mayor sea la sensibilidad térmica, menor será la diferencia mínima de temperatura que la cámara termográfica puede detectar y mostrar.

Normalmente, la sensibilidad térmica se especifica en °C o mK. Las cámaras termográficas más modernas para aplicaciones en edificios tienen una sensibilidad térmica de 0,03 °C (30 mK).

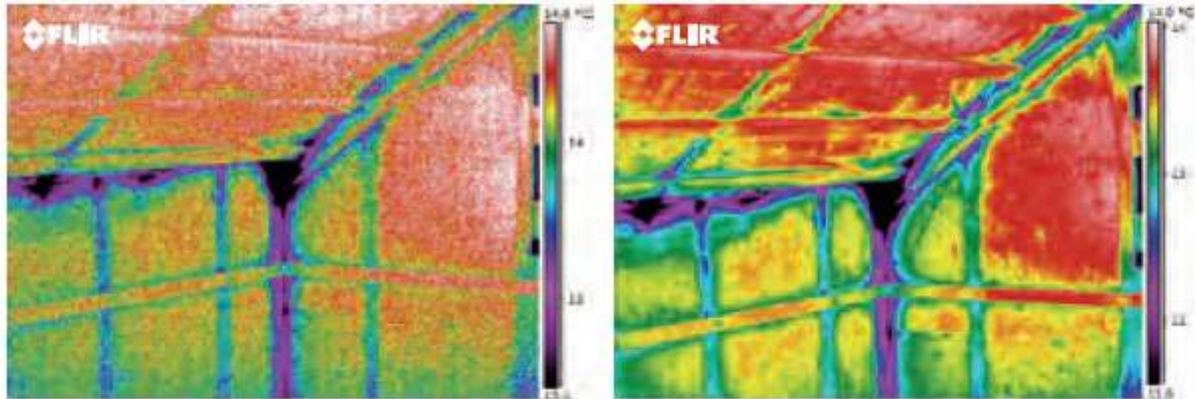


Figura 4- 1: Sensibilidad térmica 65mk izquierda vs 45mk derecha (FLIR Systems)

La detección de estas pequeñas diferencias de temperatura es fundamental en la mayoría de las aplicaciones de termografía. Una alta sensibilidad de la cámara es especialmente importante en aplicaciones de construcción, donde las diferencias de temperatura suelen ser menores. Se requiere una mayor sensibilidad para capturar imágenes más detalladas que permitan realizar mejores diagnósticos, en función de los cuales se toman decisiones sobre las acciones necesarias. Cuanto mayor sea la sensibilidad, mayor será la capacidad de la cámara para captar detalles minuciosos incluso con pequeñas diferencias de temperatura.

Valor de emisión

La termografía está estrechamente relacionada con el término valor de emisión. Dado que para la mayoría de los materiales la transmisión (transmitancia para la radiación) es bastante baja, la reflexión y la emisión siguen siendo factores de medición importantes para obtener en total el mencionado 100 por cien o el valor 1.



Figura 4- 2: Valor de emisión (FLIR Systems)

En la imagen térmica de la izquierda, se ha ajustado la emisividad correcta para la piel humana (0,97), y la temperatura leída indica el valor correcto (36,7 °C). En la imagen térmica de la derecha, se ha introducido la emisividad incorrecta (0,15), y esto da como

resultado un valor de temperatura incorrecto (98,3 °C). Véase antes la tabla 1 con los valores de emisividad de los distintos materiales.

Reflexión

Algunos materiales, entre los que se incluyen la mayoría de los metales, reflejan la radiación térmica con la misma intensidad que un espejo refleja la luz visible. Los reflejos suelen ser la causa de interpretaciones erróneas de la termografía; el reflejo de la radiación térmica procedente del propio cuerpo del operador o de una lámpara puede dar lugar a datos de temperatura incorrectos. Por lo tanto, el operador debe elegir cuidadosamente el ángulo con el que la cámara termográfica apunta al objeto para evitar este tipo de reflejos.

No utilice superficies metálicas para los valores de medición reales. ¡No observar barras colectoras de cobre desnudo!

Mida las salidas de cable de las barras de cobre, el aislamiento del cable o el tubo termorretráctil en el terminal del cable.

Aplicación en edificios: Cuidado con los canalones: la mayoría son de zinc o cobre y pueden reflejar el cielo. Las ventanas de cristal vistas desde el exterior reflejarán los árboles, los edificios de enfrente o el cielo y las nubes. Las ventanas y puertas viejas de aluminio desnudo también reflejan. Las ventanas de doble acristalamiento están separadas por perfiles de chapa, que son un puente térmico debido a su construcción. Las esquinas o bordes interiores de las habitaciones representan un puente térmico geométrico y suelen ser más fríos que la pared o el techo. Es importante mantener la temperatura por debajo del punto de rocío. Las fachadas de chapa de zinc reflejan.

Supongamos que se encuentra en una habitación y desea medir la temperatura del cristal de una ventana. El cristal tiene un valor de emisividad de 0,5, lo que significa que la radiación que llega a la cámara se compone de un 50 por ciento de radiación del cristal (dependiendo de la temperatura del cristal) y un 50 por ciento de radiación reflejada de la superficie. Si una pared interior oscura mate se refleja en el cristal, se puede establecer aproximadamente la temperatura interior de, por ejemplo, 20 °C y el valor de emisión de 0,5 o 50 por ciento en la cámara o en el software de evaluación. Sin embargo, si en el cristal se refleja un radiador con 65 °C, o si el operador de la cámara de infrarrojos se ve a sí mismo allí, entonces debe fijarse el valor correspondiente como temperatura de fondo. En la siguiente imagen puede verse fácilmente por qué es importante y qué factores deben tenerse en cuenta.

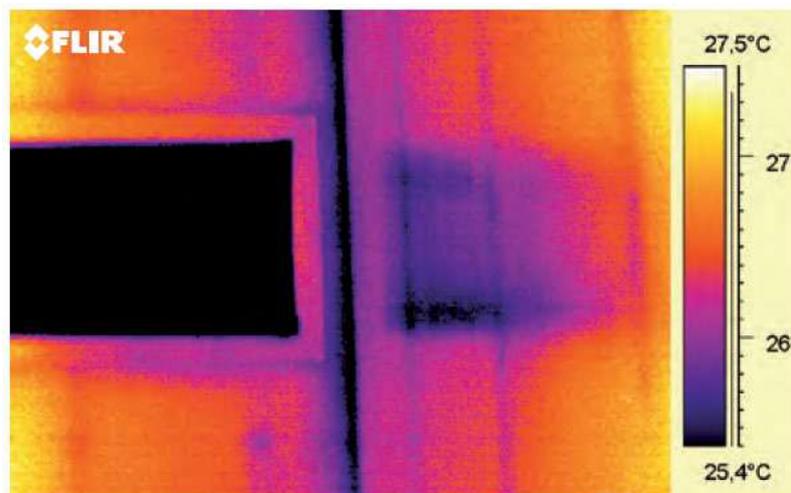


Figura 4- 3: Reflexión en la pared derecha desde la ventana izquierda (FLIR Systems)

En pleno verano, con temperaturas exteriores de 35 °C y un cielo azul brillante, la medición de la temperatura de la superficie acristalada de una ventana desde la calle puede reflejar el cielo (por ejemplo, -20 °C) o, por ejemplo, la fachada de pizarra negra de la casa vecina (60 °C) y en el resultado, sin una correcta consideración de la temperatura de fondo, se producen errores de medición considerables.

Inspección de módulos solares con cámaras termográficas

Para obtener un contraste térmico suficiente al inspeccionar células solares in situ, se requiere una irradiancia solar de 500 W/m² y superior. Se puede obtener un resultado óptimo con una intensidad de radiación de 700 W/m². La ubicación y las condiciones meteorológicas locales ejercen una gran influencia. Las bajas temperaturas exteriores también pueden aumentar el contraste térmico.

Por lo general, los módulos fotovoltaicos se montan en marcos de aluminio muy reflectantes, que aparecen como zonas frías en la termografía porque reflejan la radiación térmica del cielo. En la práctica, esto significa que la cámara termográfica mostrará la temperatura del marco claramente por debajo de 0 °C. Sin embargo, dado que su algoritmo de visualización se ajusta automáticamente a las temperaturas medidas más altas y más bajas, muchas anomalías térmicas bajas no serán visibles inmediatamente. Por lo tanto, para obtener un alto contraste térmico de la termografía, habría que corregir constantemente a mano el nivel y el intervalo.

Para evitar reflejos de la cámara termográfica y del operador en el cristal, la cámara no debe colocarse en ángulo recto con respecto al módulo que se va a examinar. Sin embargo, la emisividad es mayor en ángulos rectos y disminuye al aumentar el ángulo. Un ángulo de visión de 5 a 60° es un buen compromiso (0° es perpendicular).

Condiciones ambientales y de medición: Para realizar un examen termográfico, el cielo debe estar despejado, ya que las nubes reducen la radiación solar y, además, producen reflejos molestos. No obstante, pueden obtenerse imágenes significativas incluso en condiciones de nubosidad, siempre que la cámara termográfica utilizada sea lo suficientemente sensible. Asimismo, es deseable que no haya viento, ya que cualquier corriente de aire en la superficie del panel solar provocará un enfriamiento por

convección, y esto a su vez reducirá el gradiente de temperatura. Cuanto menor sea la temperatura del aire, mayor será el contraste térmico potencial. Por lo tanto, es posible realizar inspecciones termográficas a primera hora de la mañana.

4.2 Cámara

Una cámara de infrarrojos muestra las temperaturas. Esto puede hacerse en blanco y negro, entonces los brillos corresponden a las temperaturas. Normalmente, sin embargo, se eligen diferentes representaciones en falso color. La asignación de colores a las temperaturas suele ser intuitivamente esperada por el espectador de azul a rojo, es decir, de frío a cálido. En la imagen de la cámara, una cuña de color proporciona la asignación de temperaturas a los colores.

Una cámara de infrarrojos es un sistema calibrado y también se denomina radiómetro. En la precisión absoluta de medición de la cámara intervienen diversos factores. Entre otras cosas, en la cámara se miden las temperaturas de la óptica o del detector para parametrizar correctamente las características internas de calibración.

Por lo tanto, siempre es importante que la propia cámara sea térmicamente estable. Así, para una termografía de un edificio, no se debe salir del coche con la cámara a una temperatura de 20°C y esperar valores medidos correctos a temperaturas exteriores de -20°C. La cámara no debe utilizarse para medir la temperatura del edificio. Éstos sólo se obtienen cuando la propia cámara es térmicamente estable, es decir, cuando ha estado funcionando a -20°C durante aproximadamente ½ hora.

4.3 Análisis de informes

Hay algunas características que hacen que la documentación y también los informes sean más rastreables.

La función imagen en imagen

Eso permite al usuario combinar imágenes de la cámara digital y de la cámara termográfica. La imagen combinada muestra un marco sobre la imagen digital con una parte de la termografía que se puede mover y cambiar de tamaño. Esto permite al usuario localizar los problemas más fácilmente.

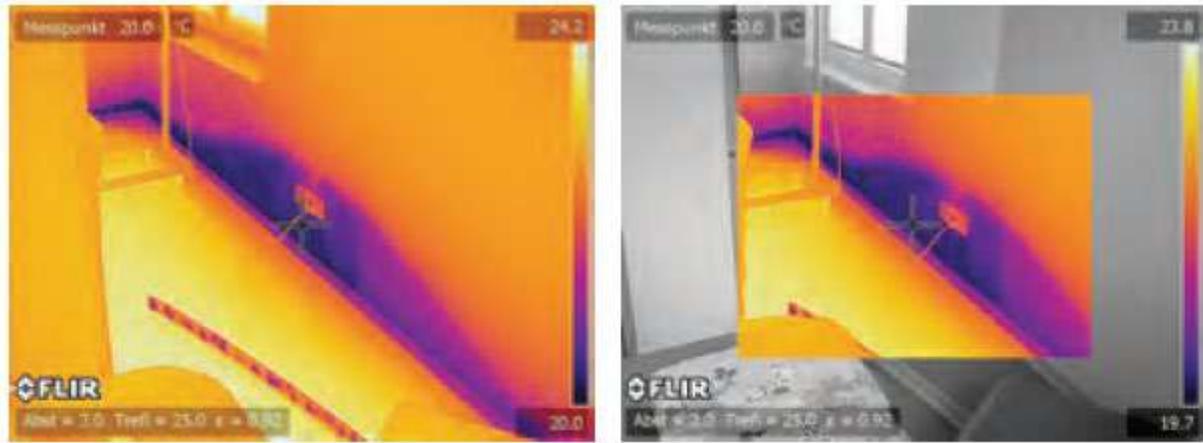


Figura 4- 4: Función Picture in Picture (FLIR Systems)

Fusión térmica

Esta función permite al usuario combinar a la perfección las dos imágenes ajustando los parámetros de temperatura, mostrando los datos térmicos dentro de los límites y la foto digital fuera. Esto permite aislar problemas y realizar reparaciones de forma más eficiente.

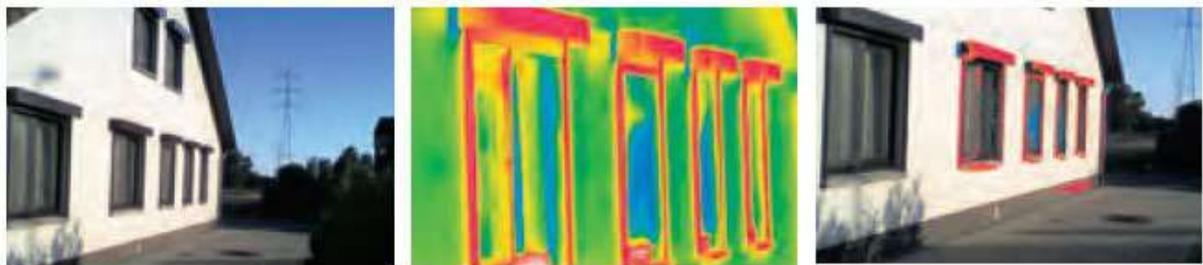


Figura 4- 5: Real - Infrarrojo - Fusión térmica (FLIR Systems)

Informe

Un informe termográfico suele incluir información detallada sobre la inspección termográfica realizada en un objeto concreto, como un edificio, un sistema eléctrico o un equipo mecánico. El contenido de un informe de termografía puede variar en función de la aplicación específica, pero a continuación se ofrece un esquema general de lo que podría incluir:

1. Introducción:
 - a. Objetivo de la inspección termográfica.
 - b. Fecha y lugar de la inspección.
 - c. Identificación del objeto inspeccionado (por ejemplo, edificio, cuadro eléctrico).
2. Alcance del trabajo:
 - a. Explicación de las áreas o componentes cubiertos en la inspección.
 - b. Cualquier limitación o restricción durante la inspección.
3. Equipamiento y metodología:
 - a. Detalles sobre el equipo de termografía utilizado.
 - b. Descripción de la metodología de inspección.
 - c. Cualquier técnica especializada empleada durante la inspección.
4. Condiciones ambientales:
 - a. Temperatura y condiciones meteorológicas durante la inspección.
 - b. Anotación de cualquier factor que pueda haber afectado a los resultados (por ejemplo, viento, luz solar).
5. Preparación y consideraciones:
 - a. Medidas adoptadas para preparar el objeto para la inspección termográfica.
 - b. Consideraciones para obtener resultados precisos y fiables.
6. Imágenes térmicas:
 - a. Presentación de las imágenes térmicas captadas durante la inspección.
 - b. Anotación de hallazgos y anomalías significativos.
7. Análisis e interpretación:
 - a. Interpretación de los patrones térmicos y las anomalías observadas.
 - b. Identificación de posibles problemas o áreas de preocupación.
 - c. Comparación de los diferenciales de temperatura y su significado.
8. Recomendaciones:
 - a. Acciones recomendadas en función de los resultados.
 - b. Niveles de prioridad para abordar los problemas identificados.
 - c. Sugerencias para seguir investigando, si es necesario.
9. Conclusiones:
 - a. Resumen de las principales observaciones y conclusiones.

- b. Evaluación global del estado del sujeto.
10. Apéndice:
- a. Documentación justificativa, cuadros o gráficos adicionales.
 - b. Imágenes térmicas sin procesar como referencia.
11. Información de contacto:
- a. Datos de contacto del termógrafo o del equipo de inspección.
 - b. Información sobre cómo solicitar más aclaraciones o servicios adicionales.

Es importante que un informe termográfico sea claro, conciso y fácilmente comprensible tanto para lectores técnicos como no técnicos. Además, el informe debe cumplir todas las normas y directrices pertinentes del sector.

En **el Apéndice A figura un** extracto de un informe ejemplar para la inspección de un sistema fotovoltaico (FV).

Lista de cifras / cuadros

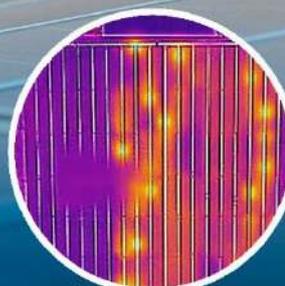
Figura 2- 1: Falta de aislamiento en la fachada (FLIR Systems)	7
Figura 2- 2: Techo de cristal con escape de aire caliente (FLIR Systems)	7
Figura 2- 3: Puente térmico en el techo (FLIR Systems)	8
Figura 2- 4: Localización del sistema de calefacción (FLIR Systems)	8
Figura 2- 5: Localización agua en tejado plano (FLIR Systems)	9
Figura 2-7: calor en contacto defectuoso	9
Figura 2-6: Calor en una línea defectuosa	9
Figura 2-8: Humedad de la viga Puente (semanticssolar.org)	10
Figura 2-9: Análisis de puentes metálicos (Brunswick Engineering)	10
Figura 2-10: Fugas de agua en los depósitos de las depuradoras (3Dvirtual360.com.au) ...	11
Figura 2-11: una banda de células está defectuosa (analistgroup.com)	11
Figura 2-12: Numerosos defectos simultáneos (diagnosticphotovoltaique.fr)	11
Figura 2-13: Tubería de gas frío (thermalcapture.com)	12
Figura 2-14: Fugas en un sistema de calefacción urbana (drone-thermal-camera.com) ..	12
Figura 2- 15 Ejemplos con drones y termografía	14
Figura 2- 16 FLIR Vue Pro (firmcameras.com)	16
Figura 2- 17 DJI Zenmuse (dji.com)	16
Figura 2- 18 DJI Mavic 3T (store.dji.com)	18
Figura 2-19 DJI Matrice 30 T (w.grube.at)	19
Figura 2-20 DJI Matrice 350 (droon.ee)	19
Figura 2- 21 Yuneec H520E (shop.yuneec.com)	20
Figura 2-22 FLIR SkyRanger R70 (www.flir.eu)	20
Figura 2-23 Parrot Anafi Thermal (www.parrot.com)	21
Figura 2-24 Parrot Anafi USA (drohnen.de)	21
Figura 2-25 Autel EVO II Dual 640T (shop.autelrobotics.com)	22
Figura 2-26 Flyability Elios 3 (halorobotics.com)	22
Cuadro 3-1: Emisividad de algunos materiales	26
Figura 4- 1: Sensibilidad térmica 65mk izquierda vs 45mk derecha (FLIR Systems)	31
Figura 4- 2: Valor de emisión (FLIR Systems)	31

Figura 4- 3: Reflexión en la pared derecha desde la ventana izquierda (FLIR Systems).....	33
Figura 4- 4: Función Picture in Picture (FLIR Systems).....	36
Figura 4- 5: Real - Infrarrojo - Fusión térmica (FLIR Systems).....	36

5. Anexo a

SOLARTESTER

INSPECTION REPORT

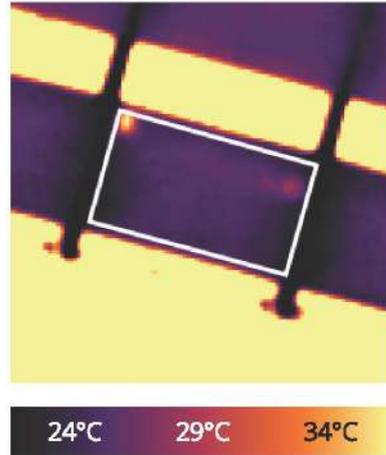


www.solartester.nl

Content

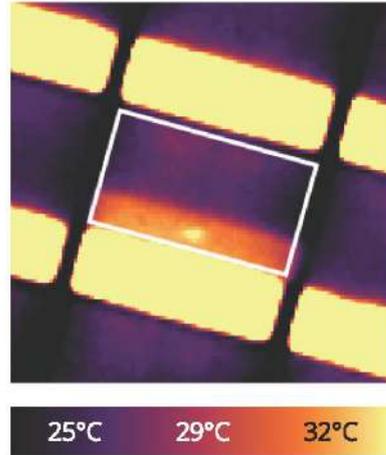
1. ST-9999 SOLARTESTER SAMPLE REPORT	1
Site properties	1
High level site plan	2
Inspection history	2
2. INSPECTION DETAILS	3
Data product	3
Timing	3
Main equipment	3
3. RGB ORTHOMOSAÏC	4
4. THERMAL ORTHOMOSAÏC	5
5. LAYER FEATURES	6
Thermal Anomalies	6

THERMAL ANOMALIES - ID 7



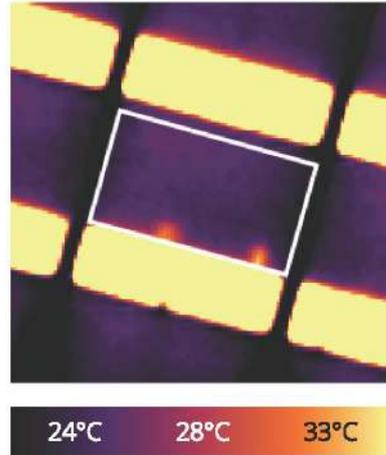
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	25.5 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	23.6 °C
MAX TEMPERATURE	34.3 °C	LONGITUDE	4.5281328 °
DELTA TEMPERATURE	8.9 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 8



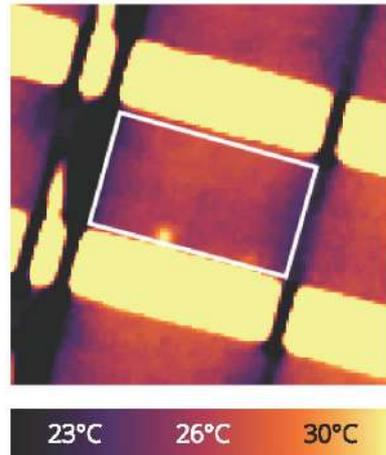
ANOMALY TYPE	Single bypassed	MEAN TEMPERATURE	27.9 °C
ANOMALY CAUSE	Physical internal	MIN TEMPERATURE	24.8 °C
MAX TEMPERATURE	32.4 °C	LONGITUDE	4.5286966 °
DELTA TEMPERATURE	4.6 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 9



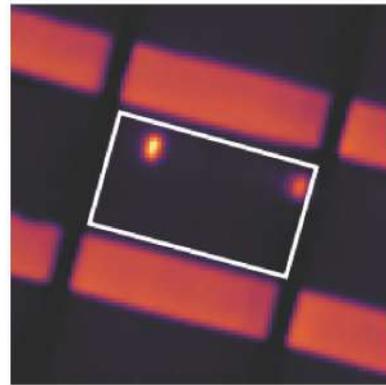
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	25.6 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	23.9 °C
MAX TEMPERATURE	32.7 °C	LONGITUDE	4.5290964 °
DELTA TEMPERATURE	7.1 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 10



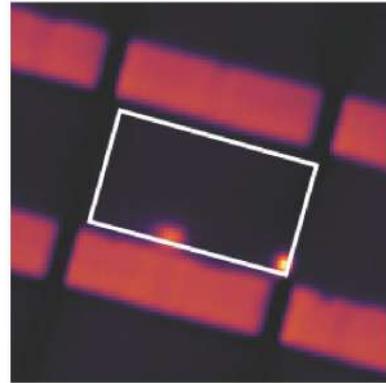
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	25.7 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	23 °C
MAX TEMPERATURE	29.6 °C	LONGITUDE	4.5288414 °
DELTA TEMPERATURE	3.9 °C	LATITUDE	51.714461 °

THERMAL ANOMALIES - ID 11



ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	26.2 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	24 °C
MAX TEMPERATURE	58.5 °C	LONGITUDE	4.5289707 °
DELTA TEMPERATURE	32.3 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 12



ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	26.7 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	24.3 °C
MAX TEMPERATURE	61.9 °C	LONGITUDE	4.5287534 °
DELTA TEMPERATURE	35.3 °C	LATITUDE	51.714461 °

SOLAR TESTER

solartester.nl

Graafsebaan 139
5248NL Rosmalen
The Netherlands

info@solartester.nl

ST-9999 SOLARTESTER SAMPLE REPORT

This section gives a brief overview of site-specific information, including inverter and panel properties.

SITE PROPERTIES

ADDRESS	Graafsebaan 139 Rosmalen	PANEL ORIENTATION	S
PEAK POWER	1 MWp	PANEL MAXIMUM POWER	370 Wp
NUMBER OF PANELS	2800	AREA	0.85 ha
PANEL INCLINATION	30	PANEL MODEL	Solar Tester
		INVERTER MODEL	Demo

HIGH LEVEL SITE PLAN



INSPECTION HISTORY

23 Jul 2022

Solar Inspection Pro

COMPLETED

INSPECTION DETAILS

DATA PRODUCT

Our “Pro” Solar Site Inspection functionality provides a complete overview of all the issues of your site and their potential causes.

TIMING

TIMEZONE	GMT+2
THERMAL FLIGHT(S)	<small>START</small> 23 Jul 2022 10:08
RGB FLIGHT(S)	<small>START</small> 23 Jul 2022 10:08

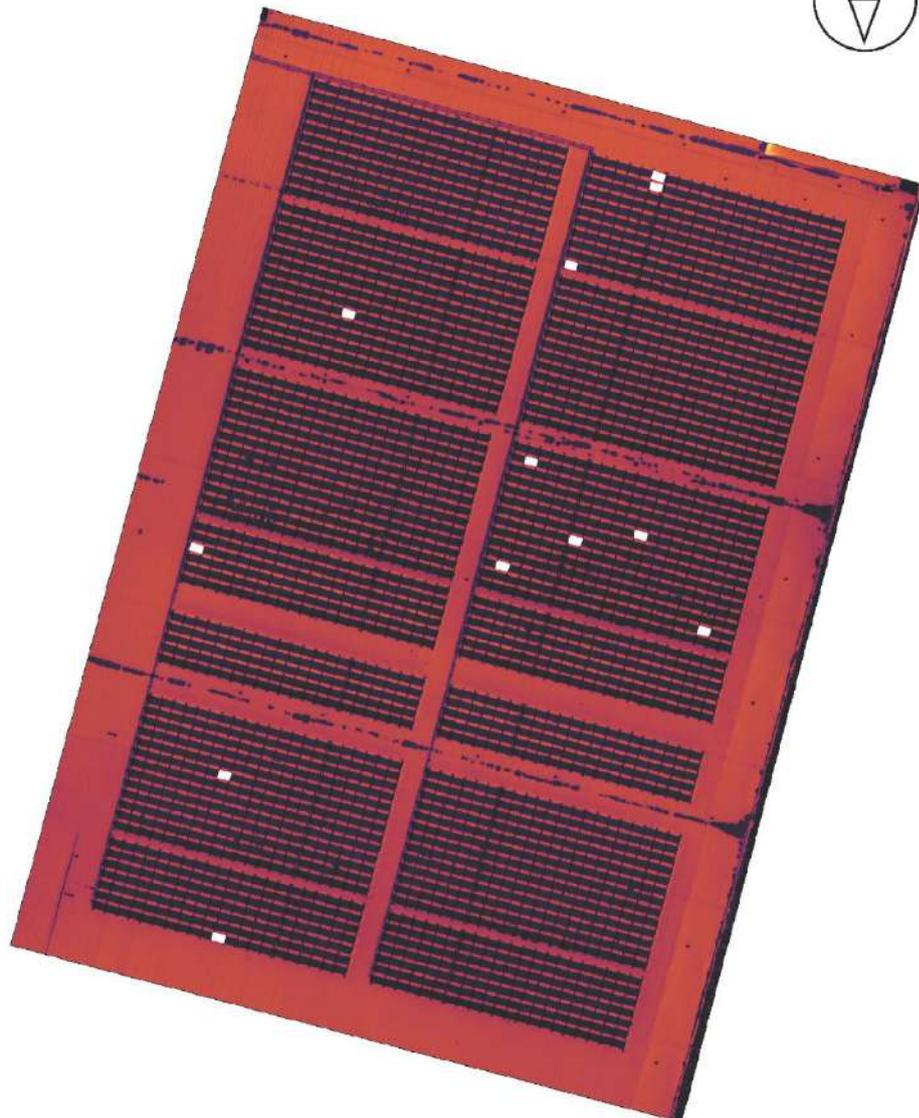
MAIN EQUIPMENT

THERMAL DRONE	DJI Matrice 200
THERMAL CAMERA	FLIR Zenmuse XT2 Thermal - 9Hz 640 R 13mm
RGB DRONE	DJI Matrice 200
RGB CAMERA	FLIR Zenmuse XT2 RGB

RGB ORTHOMOSAÏC

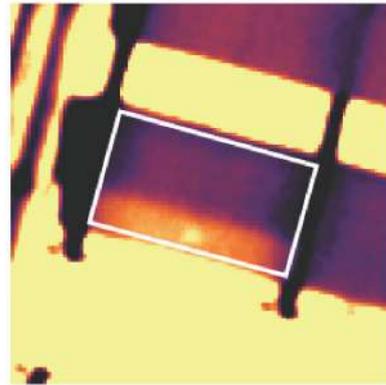


THERMAL ORTHOMOSAÏC



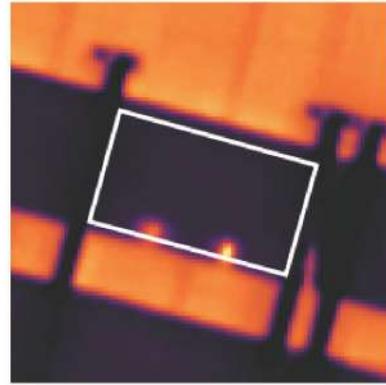
LAYER FEATURES

THERMAL ANOMALIES - ID 1



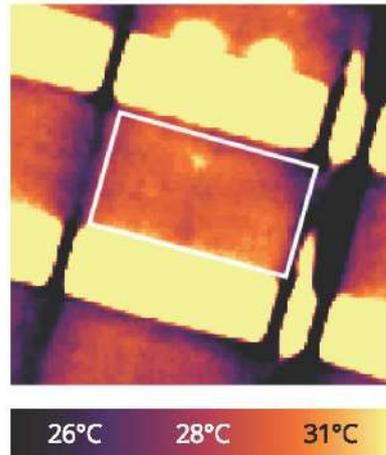
ANOMALY TYPE	Single bypassed	MEAN TEMPERATURE	28.2 °C
ANOMALY CAUSE	Physical internal	MIN TEMPERATURE	24.7 °C
MAX TEMPERATURE	33.1 °C	LONGITUDE	4.5288326 °
DELTA TEMPERATURE	5 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 2



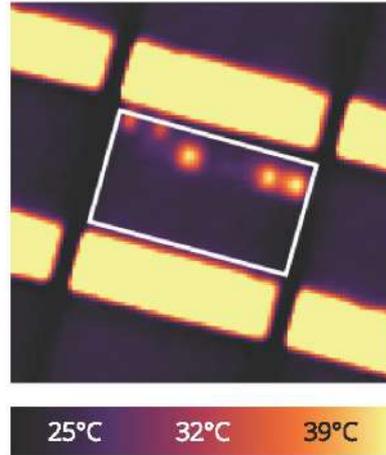
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	28.4 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	26.2 °C
MAX TEMPERATURE	52.5 °C	LONGITUDE	4.5290063 °
DELTA TEMPERATURE	24 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 3



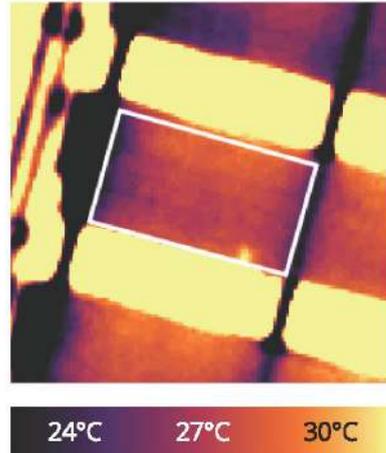
ANOMALY TYPE	Hotspot	MEAN TEMPERATURE	28.9 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	26.1 °C
MAX TEMPERATURE	30.5 °C	LONGITUDE	4.5290015 °
DELTA TEMPERATURE	1.6 °C	LATITUDE	51.714461 °

THERMAL ANOMALIES - ID 4



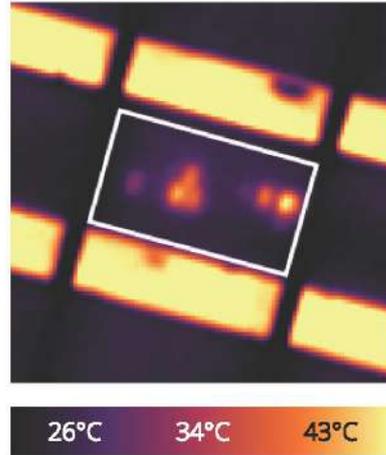
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	26.6 °C
ANOMALY CAUSE	Physical internal	MIN TEMPERATURE	24.8 °C
MAX TEMPERATURE	39.2 °C	LONGITUDE	4.5283909 °
DELTA TEMPERATURE	12.5 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 5



ANOMALY TYPE	Hotspot	MEAN TEMPERATURE	27.1 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	24.4 °C
MAX TEMPERATURE	30 °C	LONGITUDE	4.5280887 °
DELTA TEMPERATURE	2.9 °C	LATITUDE	51.7144612 °

THERMAL ANOMALIES - ID 6



ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	27.8 °C
ANOMALY CAUSE	Physical internal	MIN TEMPERATURE	25.6 °C
MAX TEMPERATURE	43.3 °C	LONGITUDE	4.5281439 °
DELTA TEMPERATURE	15.6 °C	LATITUDE	51.7144612 °