

Universidad Carlos III de Madrid

Laboratorio de Sensores, Teledetección e Imagen en el Infrarrojo

6º seminario intercongresos metrología 2015

Aplicaciones de tecnologías ópticas en la industria

Fernando López Martínez

Departamento de Física

www.lir.uc3m.es

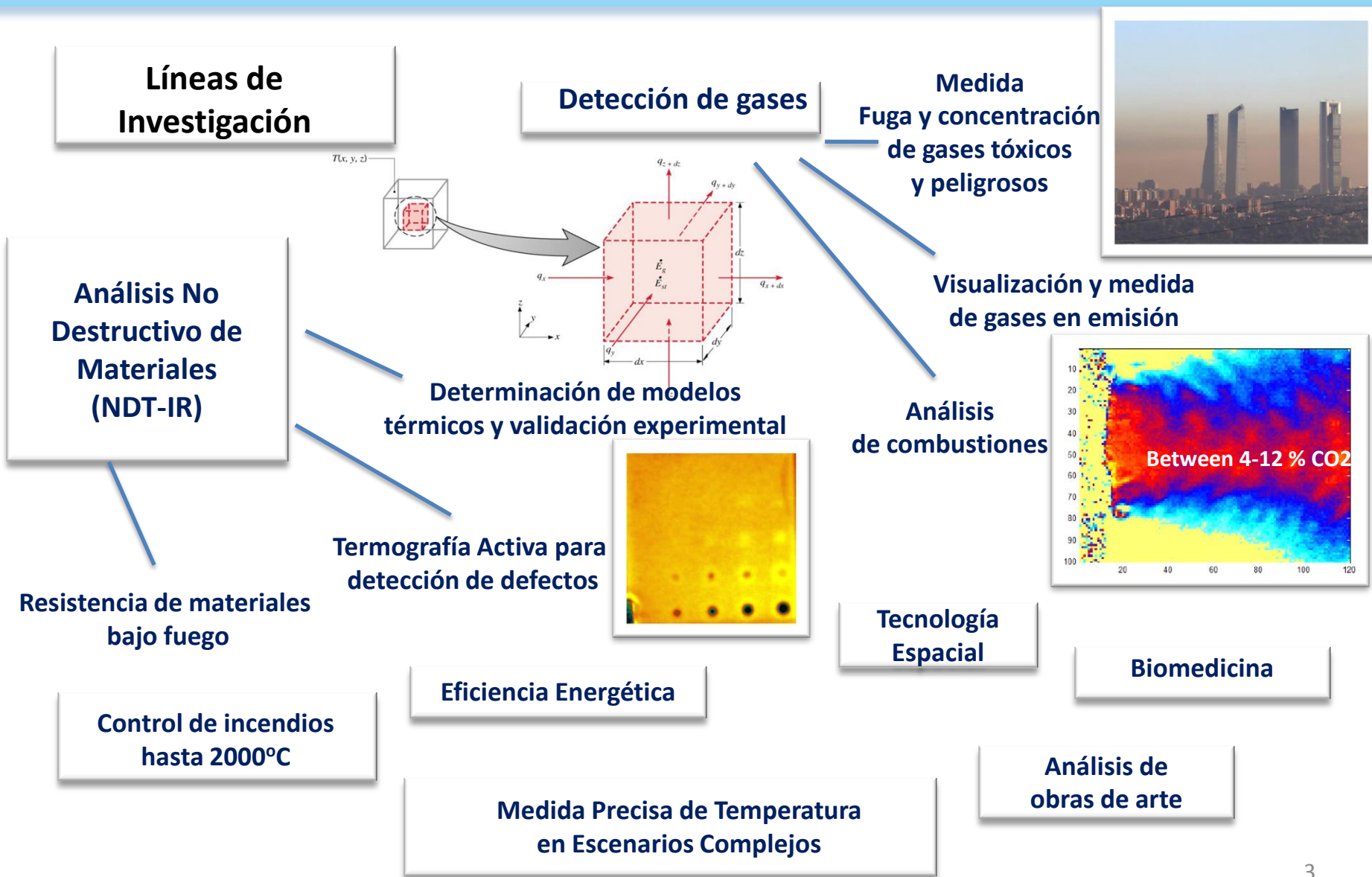


Universidad
Carlos III de Madrid

INFRARED LAB

ÍNDICE

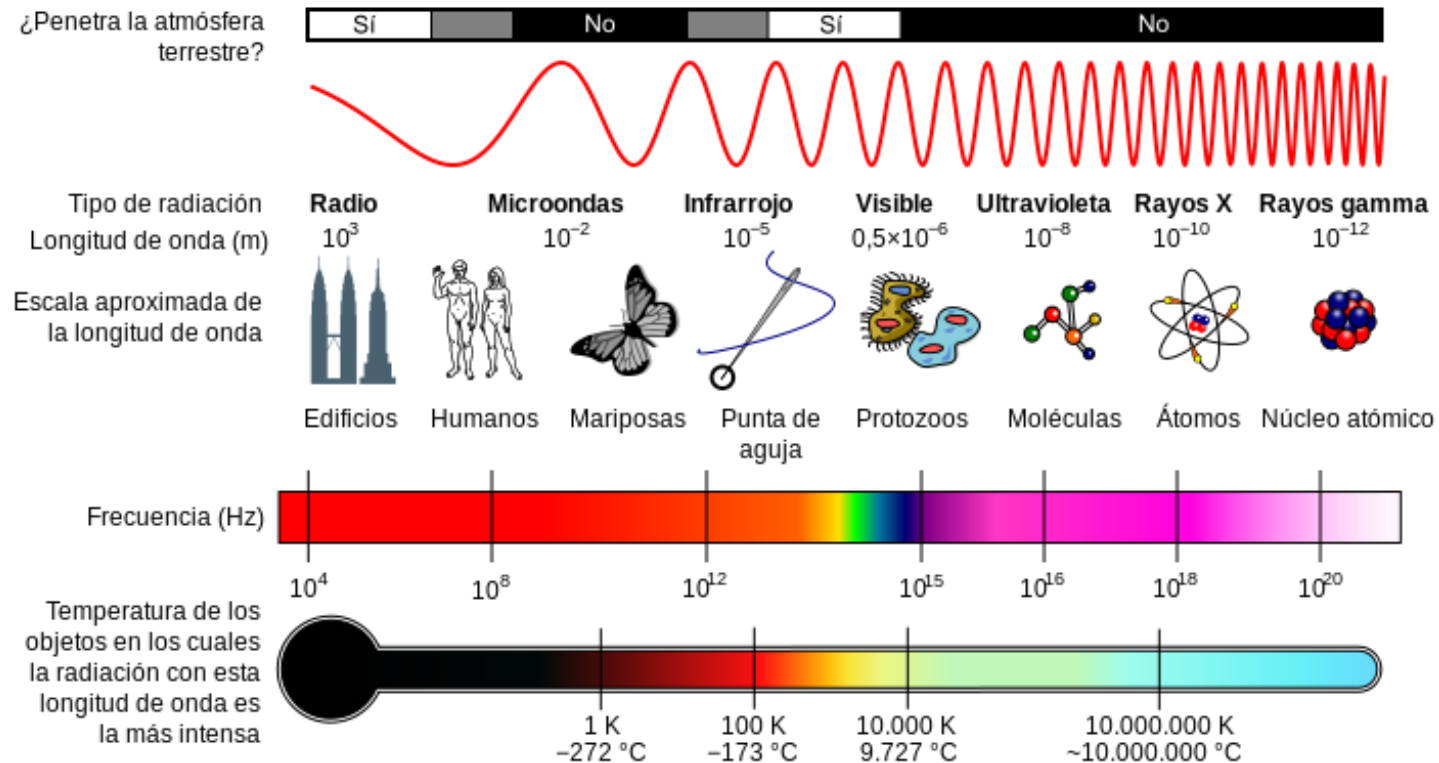
- LIR-InfraRed LAB; Líneas de Investigación
- Introducción teórica
- Aplicaciones de tecnologías ópticas en la industria
 - Temperatura
 - Termografía Activa
 - Medida y simulación de parámetros térmicos
 - Detección y cuantificación de gases
 - Aplicaciones Espaciales
 - Biomedicina
 - Aplicaciones Arte



Introducción teórica

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética, de longitud de onda mayor que la visible y menor que las microondas ($0,7 - 100 \mu\text{m}$).

La radiación infrarroja es emitida por cualquier objeto con temperatura superior a 0 Kelvin ($-273 \text{ }^\circ\text{C}$).



Interacción Radiación Electromagnética y Materia

Conservación de la energía incidente, según ley de Kirchhoff:

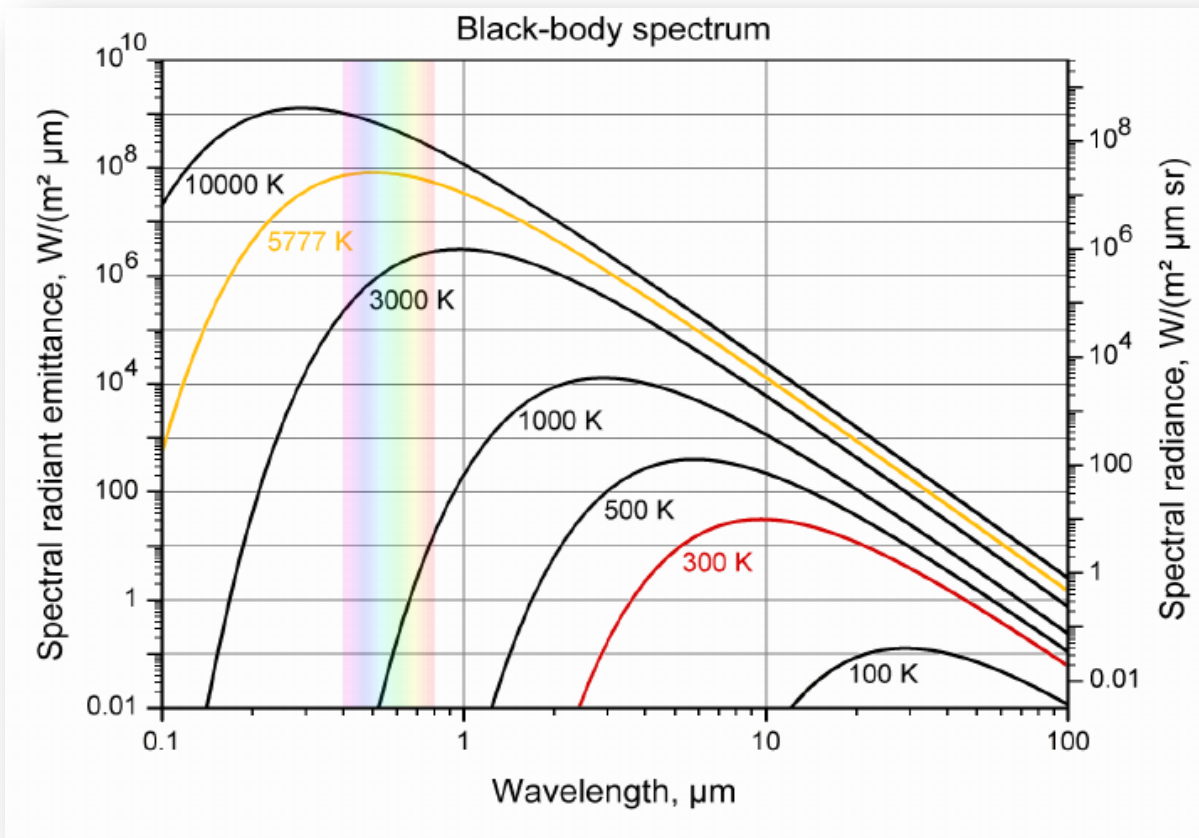
Medio con

Transmitancia $\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$

Con scattering $\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + S(\lambda) = 1$

Si $T_{\text{obj}} > 0\text{K}$ \rightarrow Emisión según la Ley de Planck:

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

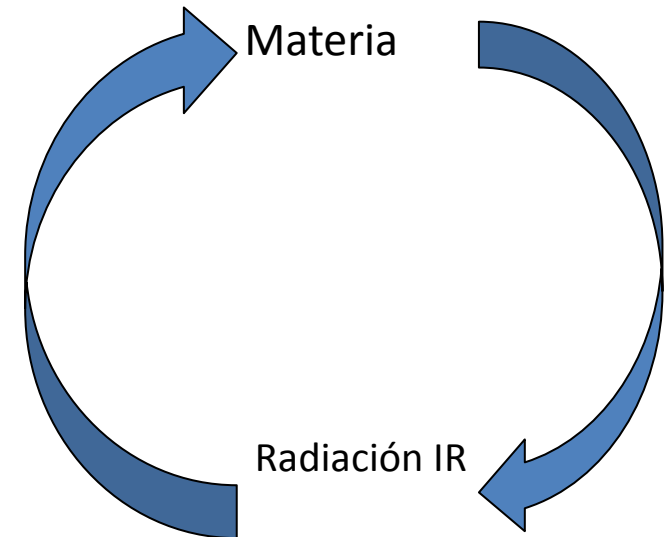


Fenómenos **Térmicos** de excitación que inducen cambios en la materia:

- **Calor** por **Absorción IR** debido a vibración molecular y transmisión a moléculas vecinas (interacciones **inelásticas**: diferentes λ , fonones,...)

Propiedades espectrales (interacciones **elásticas**: igual λ)

- Absorción ($A(\lambda)$) (gases $R=0$)
- Reflexión espectral $R(\lambda)$
- Scattering (sólidos no transparentes $T=0$)



Generación de radiación IR por Oscilación de la carga

- **Dipolos Moleculares** (vibro-rotaciones)
 producen luz IR y otras frecuencias
- ¿cómo produce luz la materia?

¿Cómo se produce la luz? Vibraciones/rotaciones moleculares

por aceleración de las cargas eléctricas

- Electrones vibran en su movimiento alrededor de los núcleos

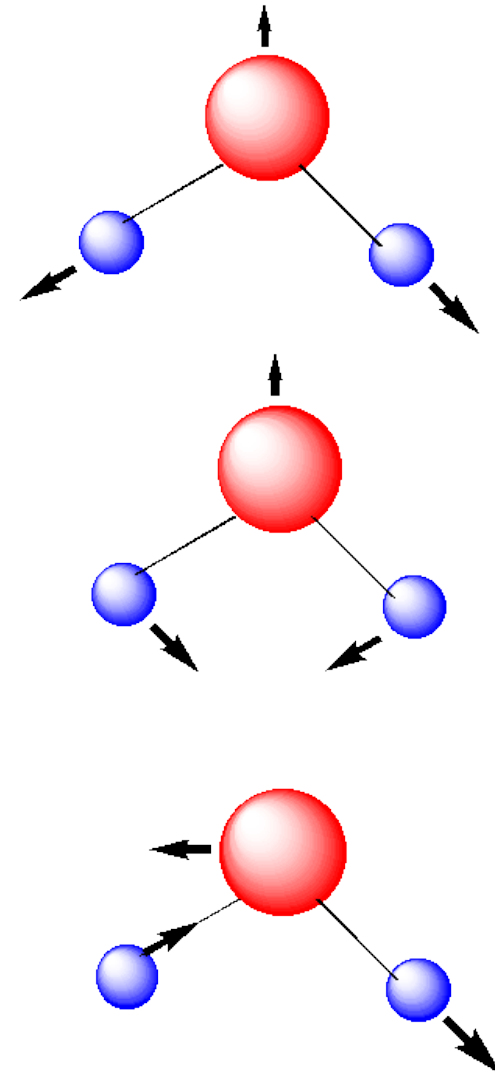
- Alta frecuencia: $\sim 10^{14}$ - 10^{17} ciclos por segundo.
- Frecuencias visibles principalmente

- Núcleos vibrando en Moléculas Polares (con momento dipolar)

- Frecuencias intermedias: $\sim 10^{11}$ - 10^{13} ciclos por segundo.
- Frecuencias en infrarrojo (IR) principalmente

- Núcleos rotando en moléculas

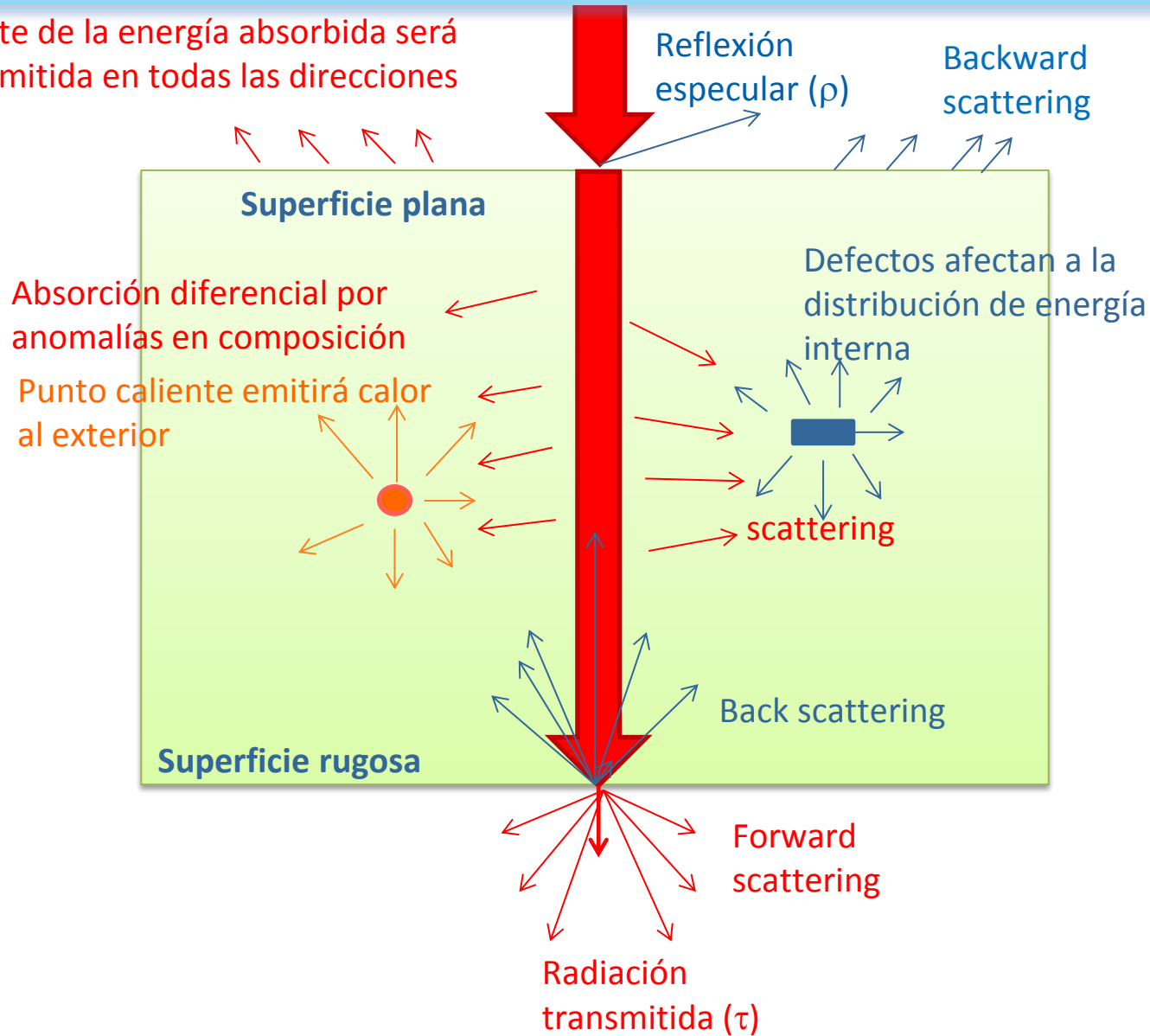
- Baja frecuencia: $\sim 10^9$ - 10^{10} ciclos por segundo.
- Frecuencias de microondas principalmente



Interacción Radiación IR - Materia

Base de las técnicas NDT-IR

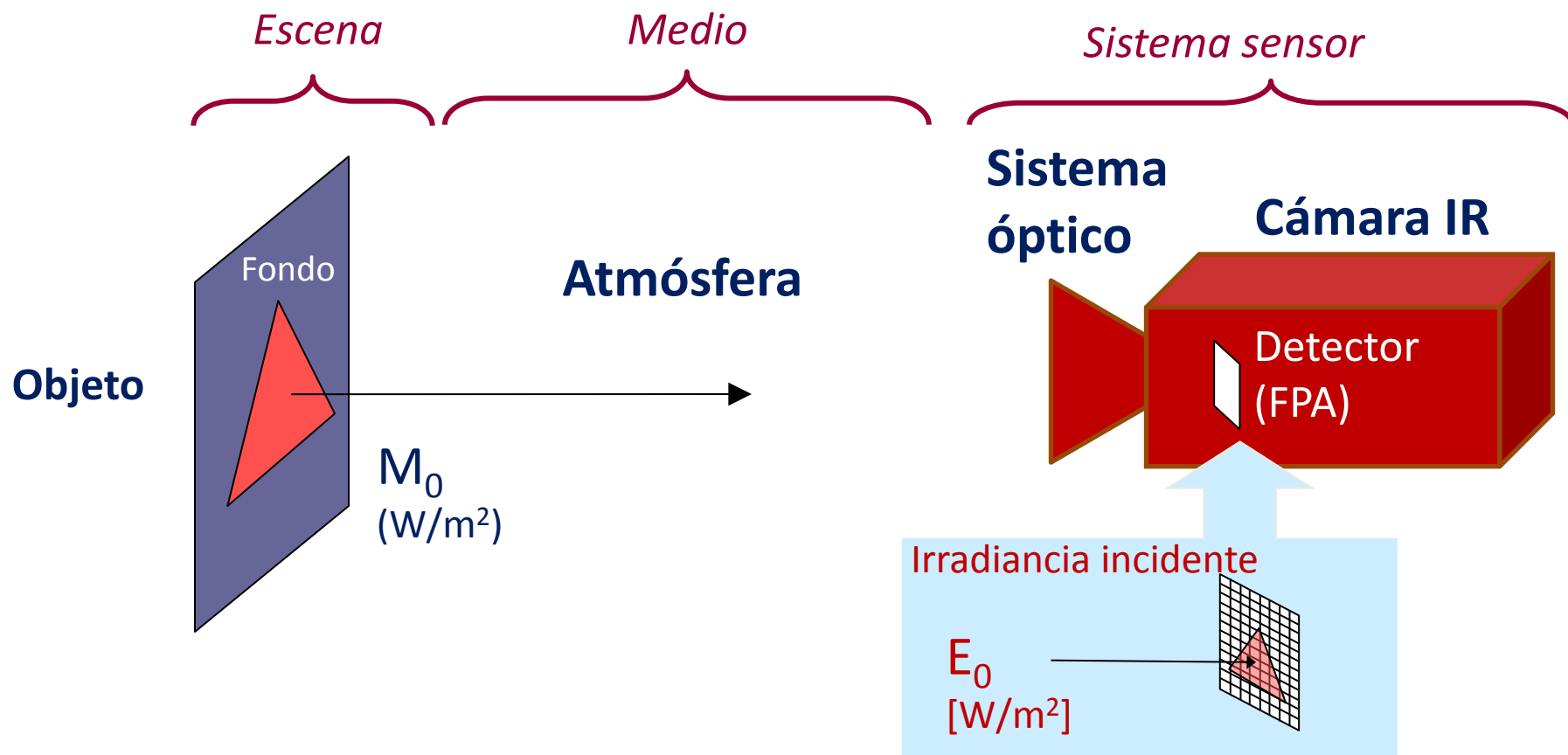
Parte de la energía absorbida será reemitida en todas las direcciones



Temperatura

Efectos que influyen en la medida de la temperatura por termografía IR

Modelo Radiométrico

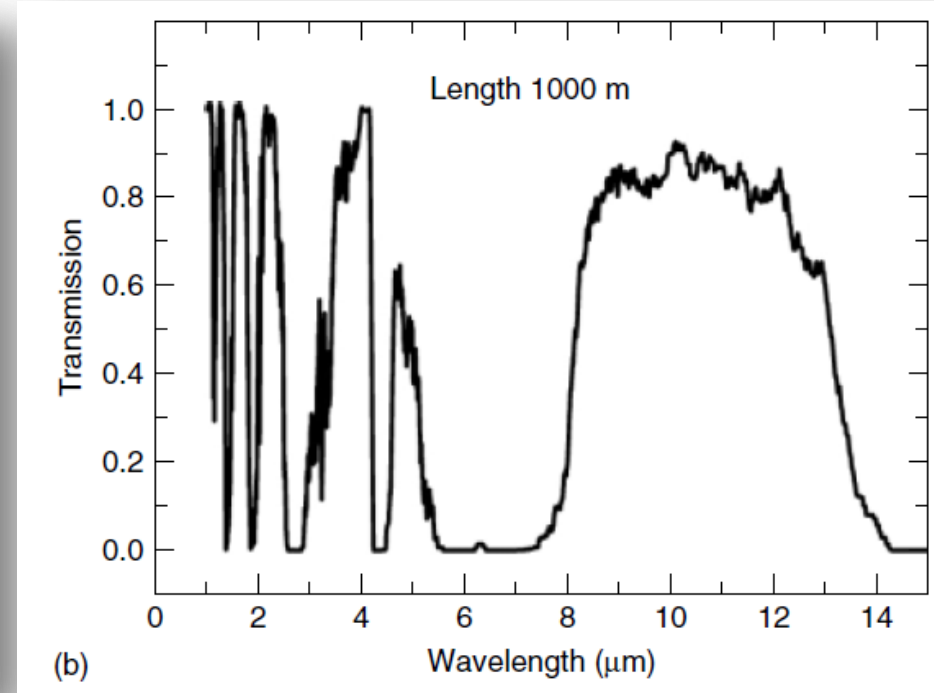
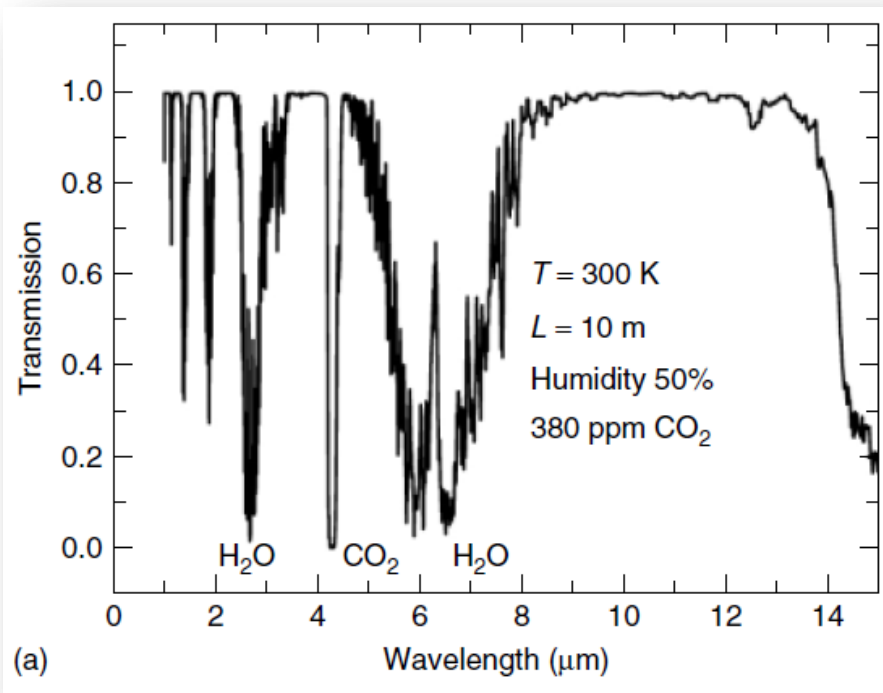


Temperatura

Parámetros de influencia (Medio)

Propiedades de la atmósfera

Espectro de absorción atmosférica en el infrarrojo con distintos gases presentes en la atmósfera y diferentes distancias de camino óptico



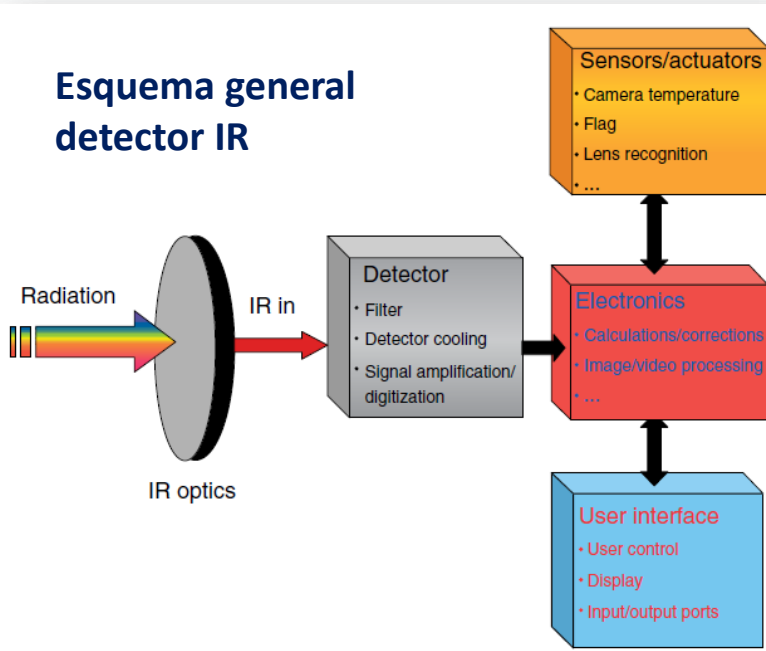
**Ventanas de transmisión atmosférica:
MIR (3-5 μm) TIR (8-12 μm)**

Medida de la Temperatura mediante Imagen IR

Parámetros de influencia. (resolución radiométrica y espacial)

Detector: resolución radiométrica

Esquema general detector IR



NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)

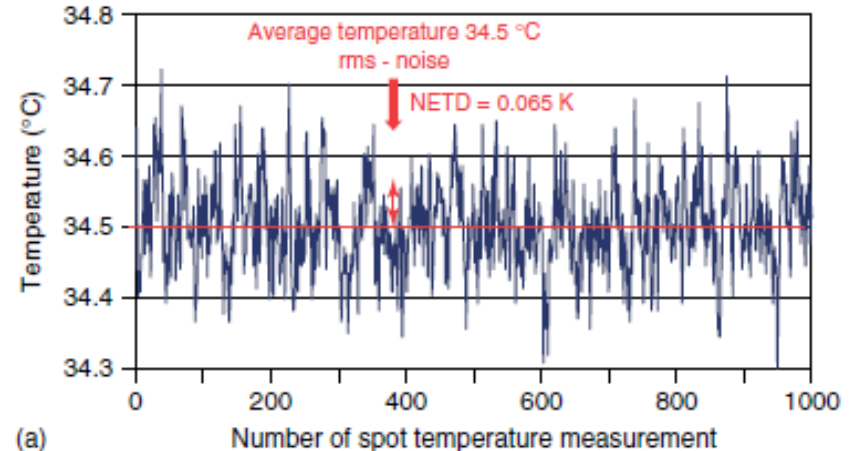
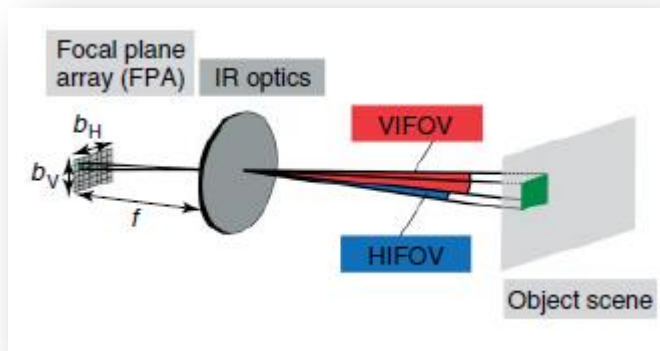
$$NETD = \left(\frac{1 + 4 \cdot F\#^2}{\tau_{a,f,o} \cdot n\pi} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f}{A_d}} \right) \cdot \left(\frac{1}{\int_{\Delta\lambda} \frac{\partial L(T, \lambda)}{\partial T} \cdot D^*(\lambda) d\lambda} \right) =$$

Ejemplo detector IR:

NETD = 50 mK @ 300K (#F = 1) , 8-12 μm

Detector: resolución espacial

IFOV (Instantaneous field of view)



(a)

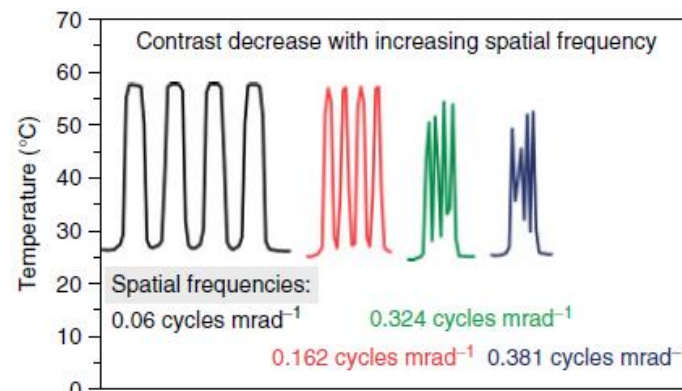
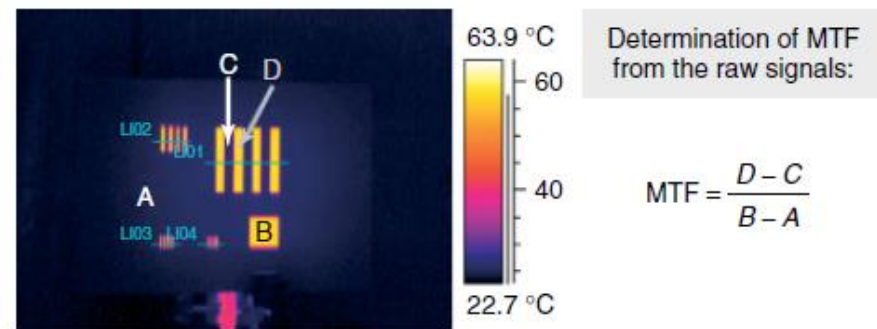
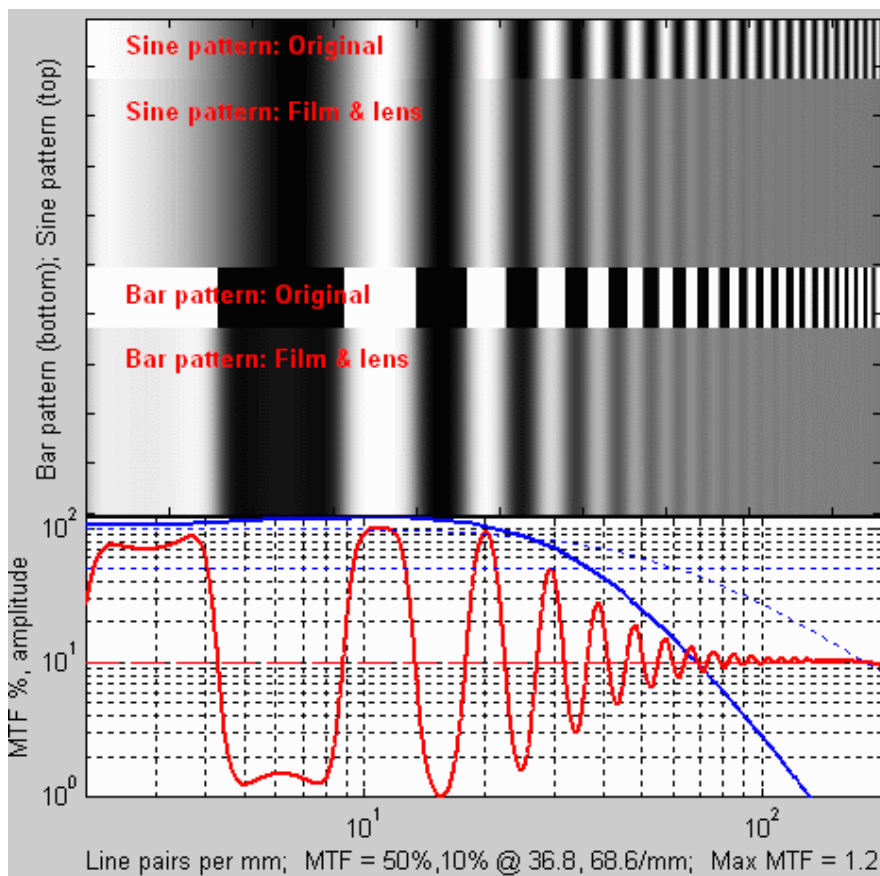
Temperatura

Parámetros de influencia. MTF. (Ambas: resolución radiométrica y espacial)

- MTF → Función de Transferencia de la Modulación

Función de transferencia óptica

Información sobre la respuesta del Sistema (lentes, filtros, detector, etc.) ante frecuencias espaciales



Resolución Espectral

Ejemplo de Sistema Multiespectral de Imagen IR

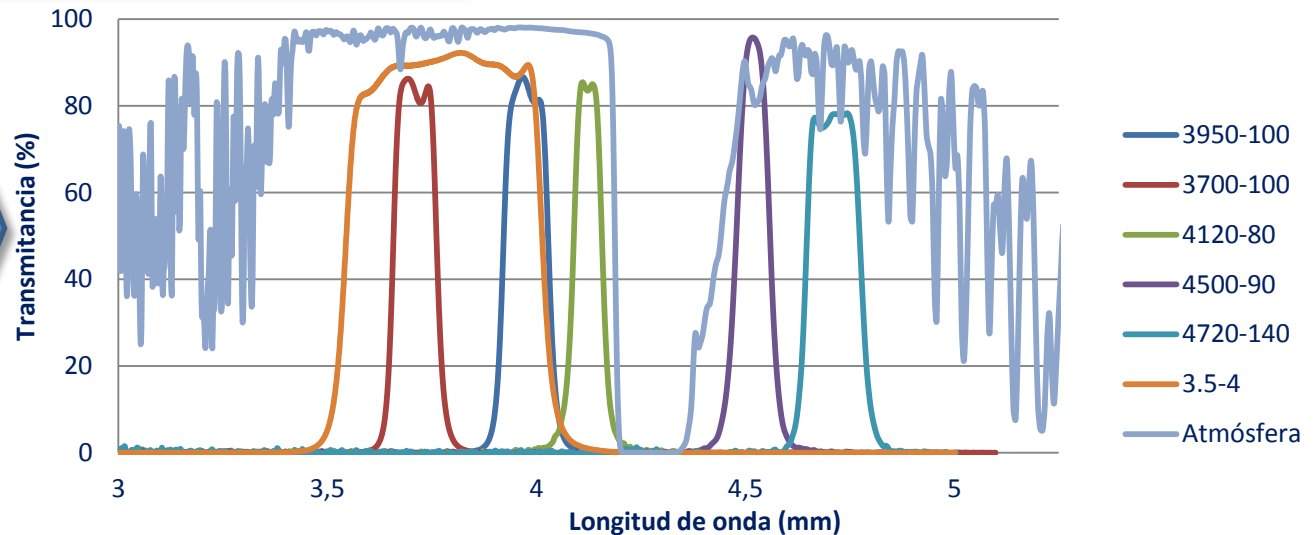
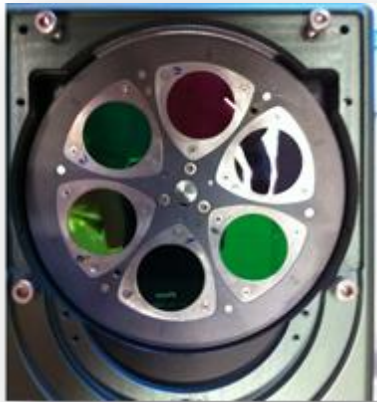


Características de interés:

- Detector InSb
- Detectividad espectral de 2-5 μm
- Array de detectores de 640x512 píxeles
- Termoestabilizado a 70K
- NDT@25C medida en banda ancha 50mK
- Óptica experimentos: 100mm

Rueda porta filtros con capacidad para 6 filtros

- Velocidad de giro máx. 600 filtros/seg



Aplicaciones de tecnologías ópticas en la industria

Medida de temperatura a distancia en cuerpos sólidos



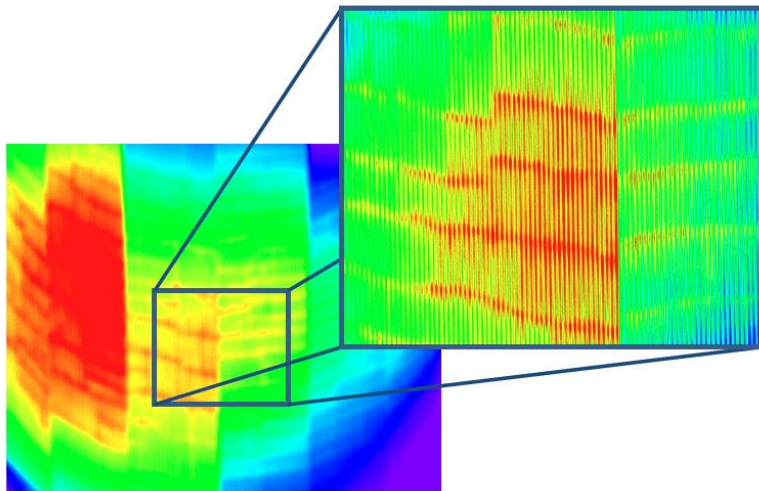
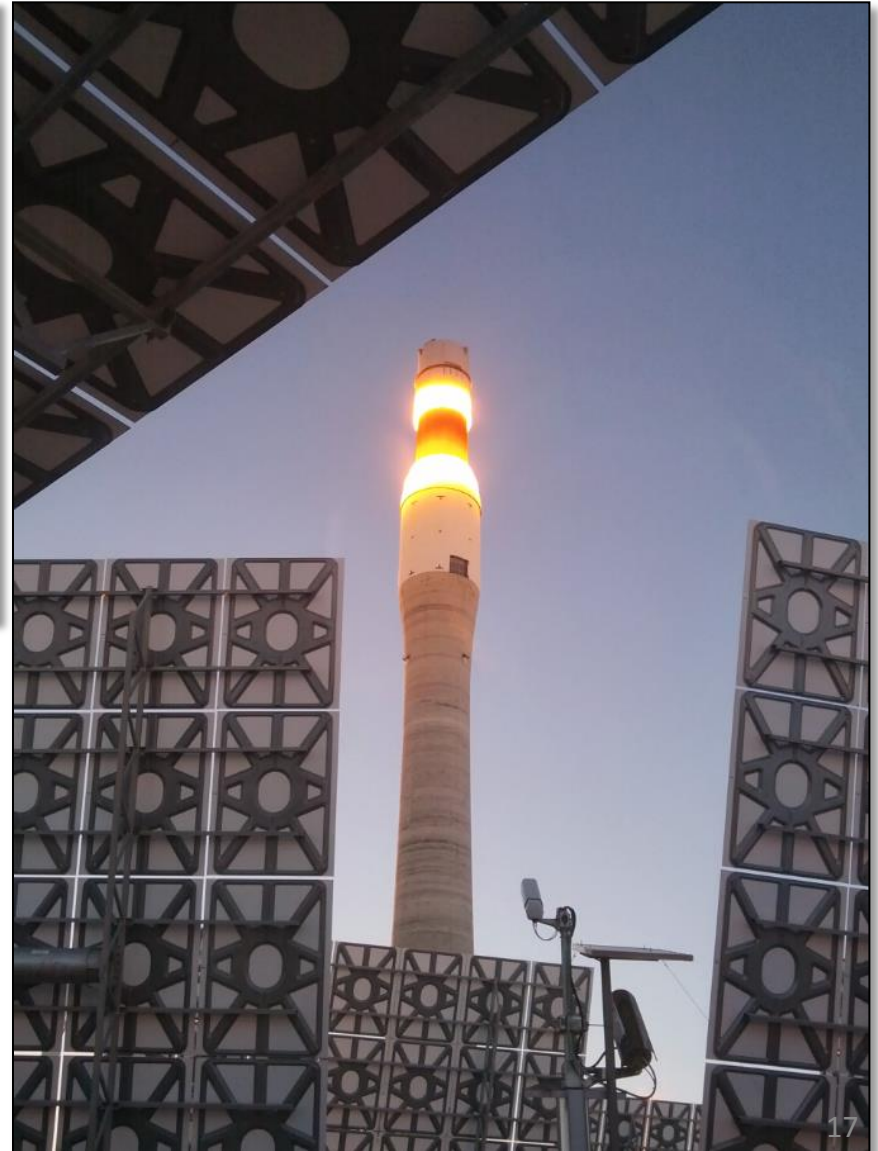
*Medida Precisa
de Temperatura
en Escenarios
Complejos*



Aplicación de técnicas de
medición basadas en
imagen multiespectral

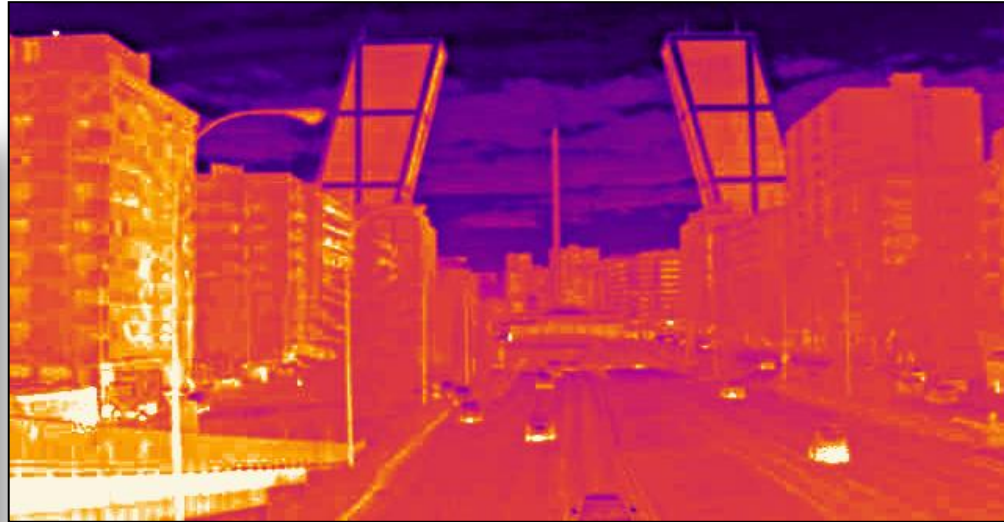
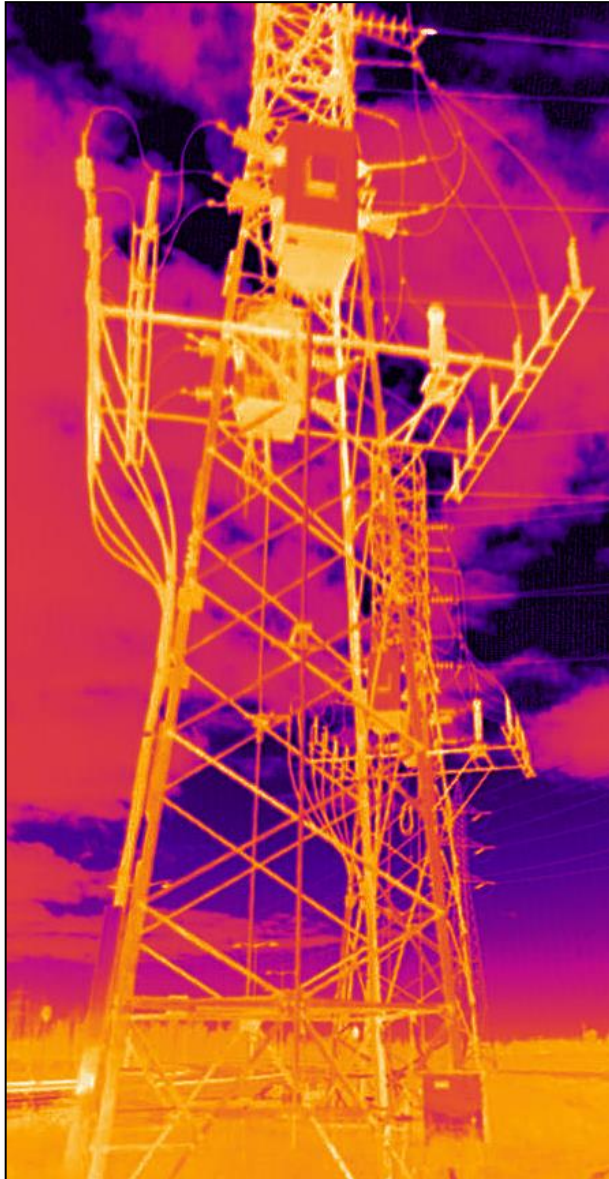
Temperatura

Medición de temperatura en cuerpos sólidos



Temperatura

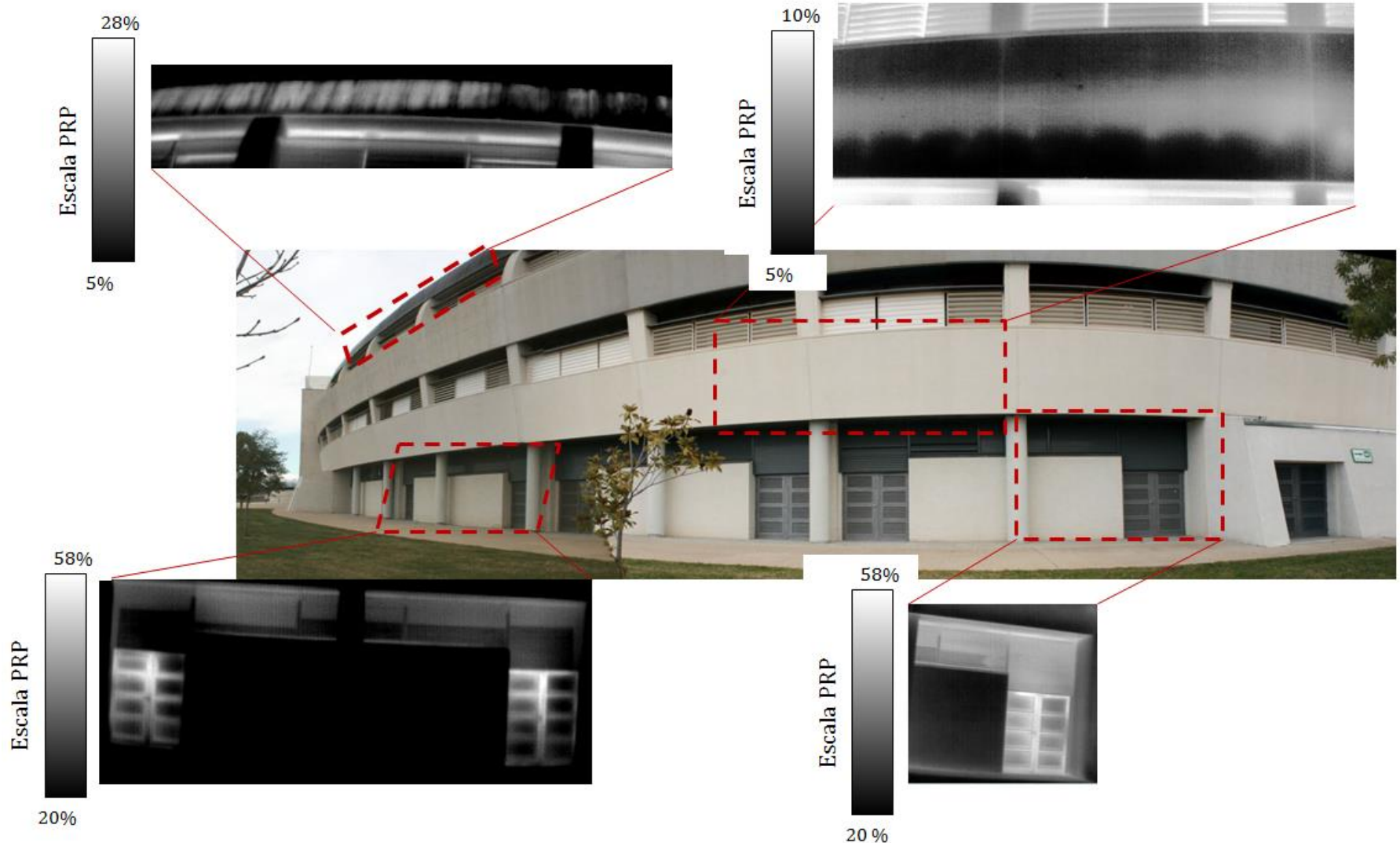
Medición de temperatura en cuerpos sólidos



Eficiencia
Energética
en Edificios

Temperatura

Medida de temperatura en cuerpos sólidos



Medición Eficiencia Energética de Edificios
Parámetros Relativos de Pérdidas (PRP)



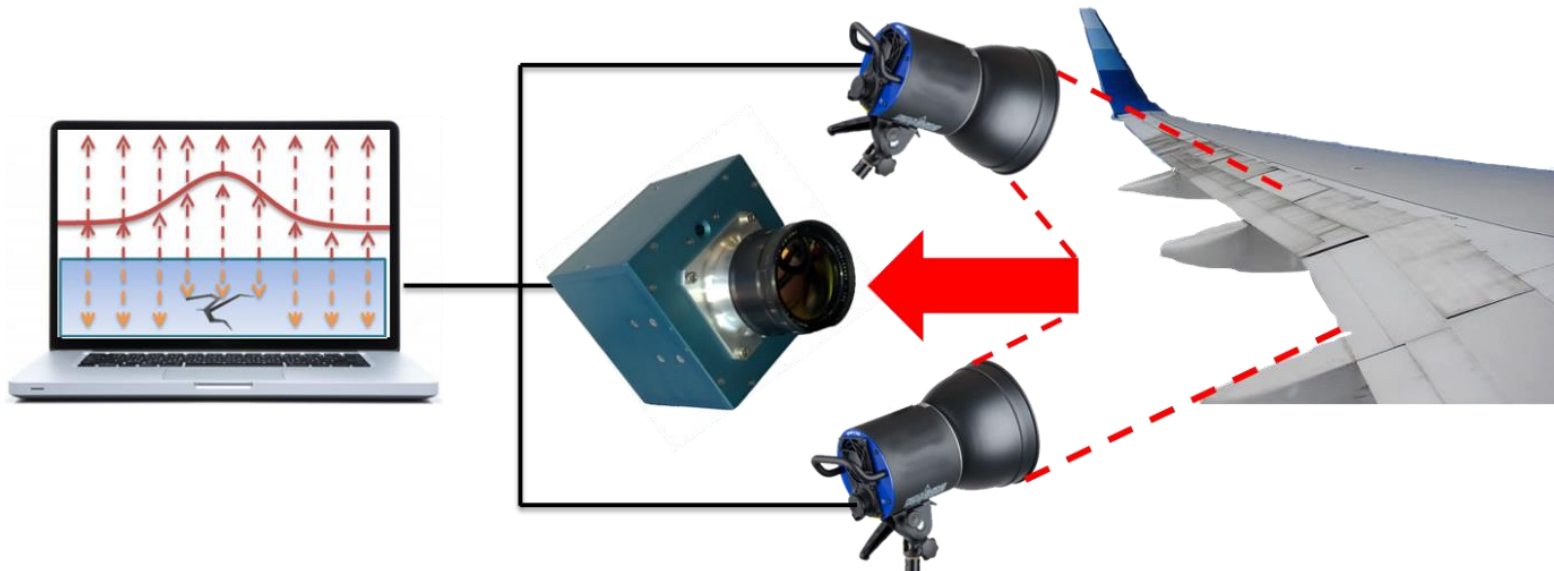
Medición Eficiencia Energética de Edificios
Parámetros Relativos de Pérdidas (PRP)

Detección de Defectos ocultos en materiales y estructuras por Termografía activa NDT-IR

Los sistemas de **termografía activa para NDT-IR** consisten en fuentes térmicas como emisores y una o varias cámaras IR como sensores. De este modo se generan transitorios térmicos que son estudiados mediante los sensores IR para evaluar la presencia de defectos en el interior de un material.

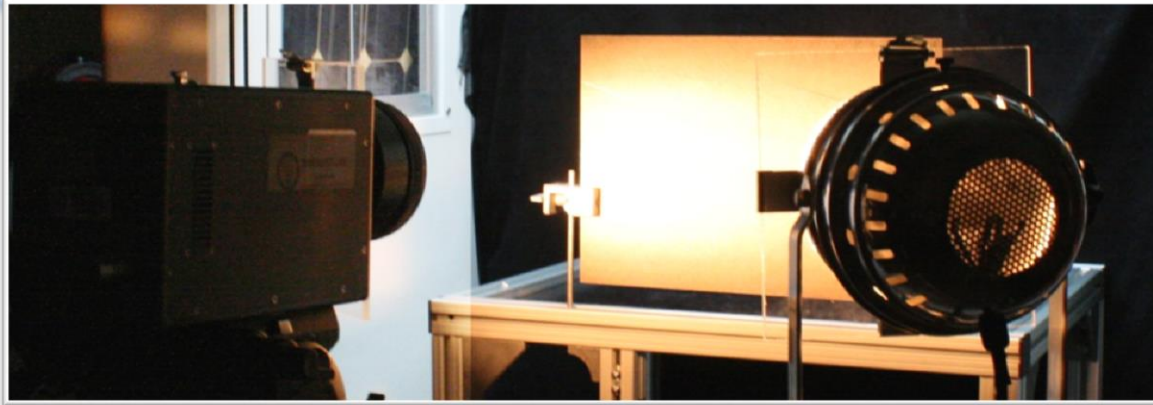
Desde el punto de vista de aplicación industrial hay dos principales atractivos de la termografía frente a otras técnicas de inspección no destructiva:

- **Inspección *one-side***: Aplicación de la excitación y detección por el mismo lado de la estructura analizada.
- **Inspección *one-shot***: Inspección con un solo impulso térmico (flash) con una duración del experimento de unos pocos segundos.



Defectos ocultos en materiales y estructuras

Inclusiones extrañas



Cámara

Lámpara

**Técnicas Flash:
defectos ocultos**

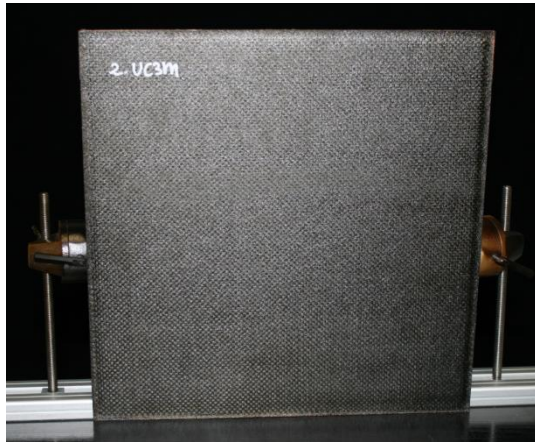


Imagen visible

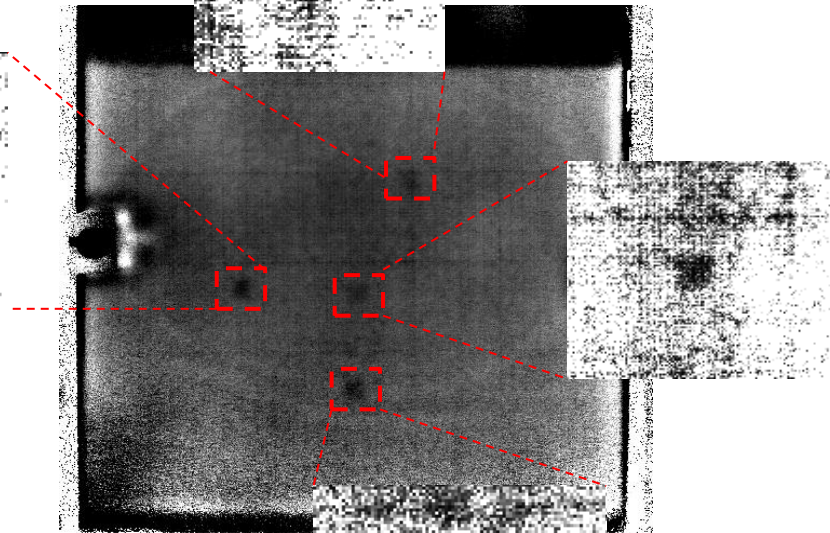
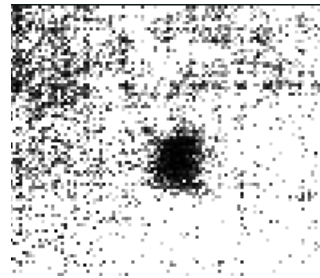
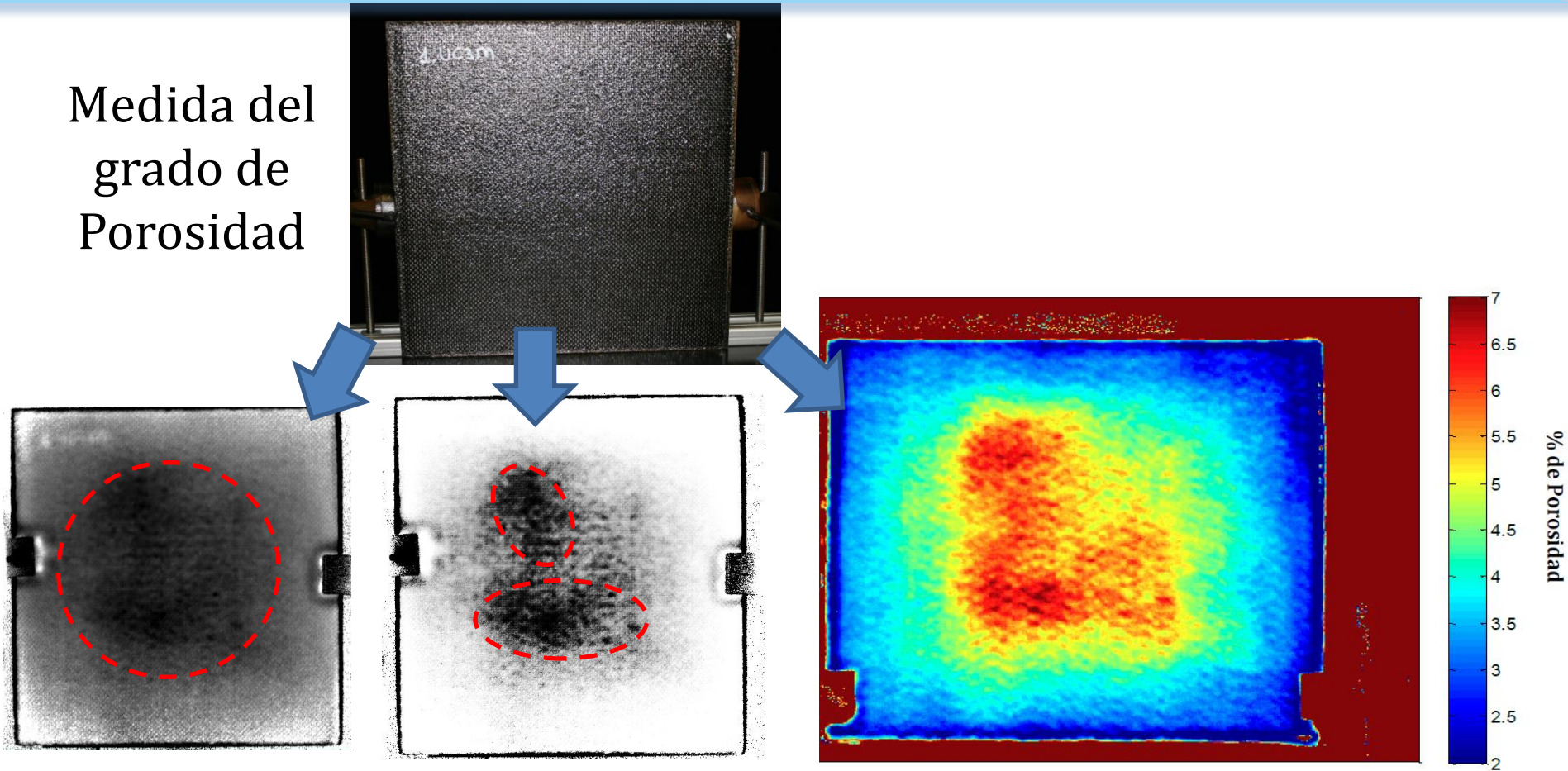


Imagen IR de
Inclusiones

Cuantificación de la Porosidad Mediante NDT-IR y Modelos

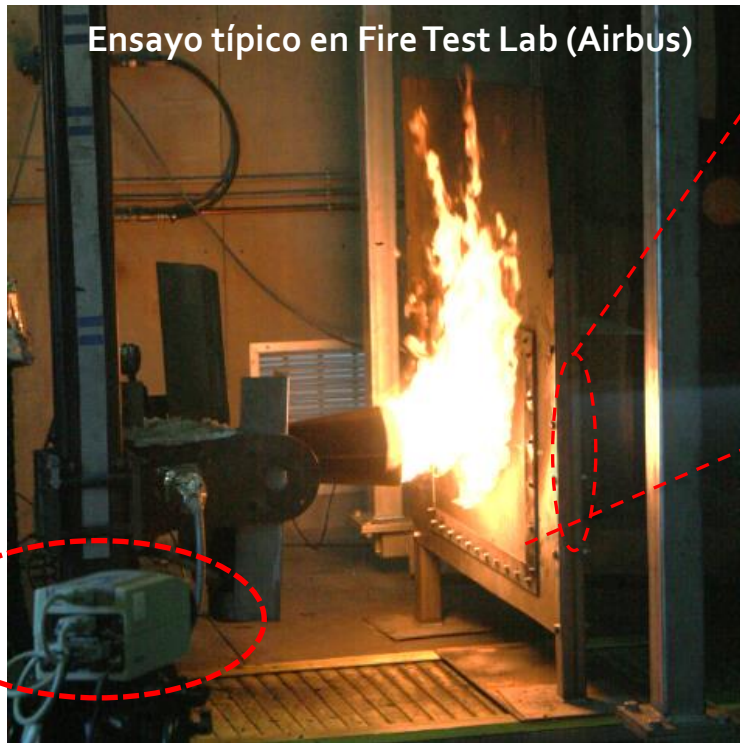
Medida del grado de Porosidad



Cuantificación de porosidad en materiales compuestos.

Obtención de un mapa de porosidades en un material compuesto

Medida propiedades y constantes térmicas de materiales compuestos sometidos a fuego

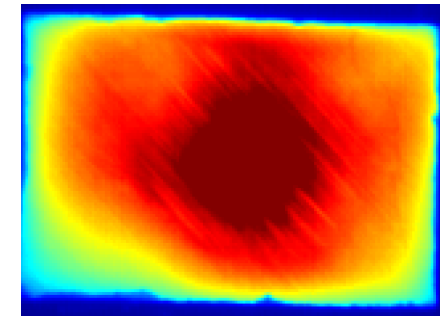
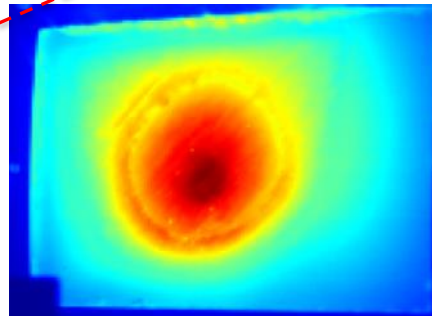


Vista frontal (cara caliente)
Usando cámara IR



Vista trasera (cara fría)
Usando cámara IR

Visión
detrás de la llama



*Mapa experimental de temperatura en ambas caras correlacionados temporal y espacialmente.
A lo largo del ensayo*

Virtualización de ensayos

Obtención de Parámetros Térmicos

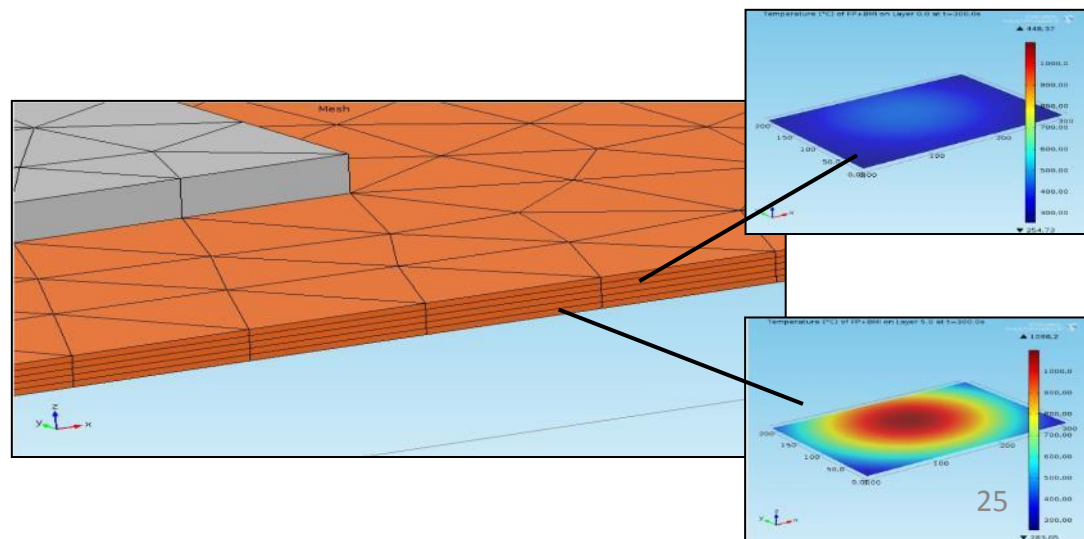
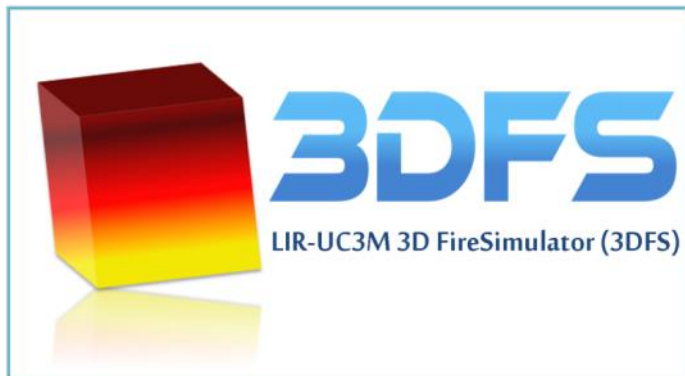
3DFireSimulator: Análisis Térmico Tridimensional de Materiales

Software para la **predicción del comportamiento térmico** de materiales compuestos sometidos a fuego

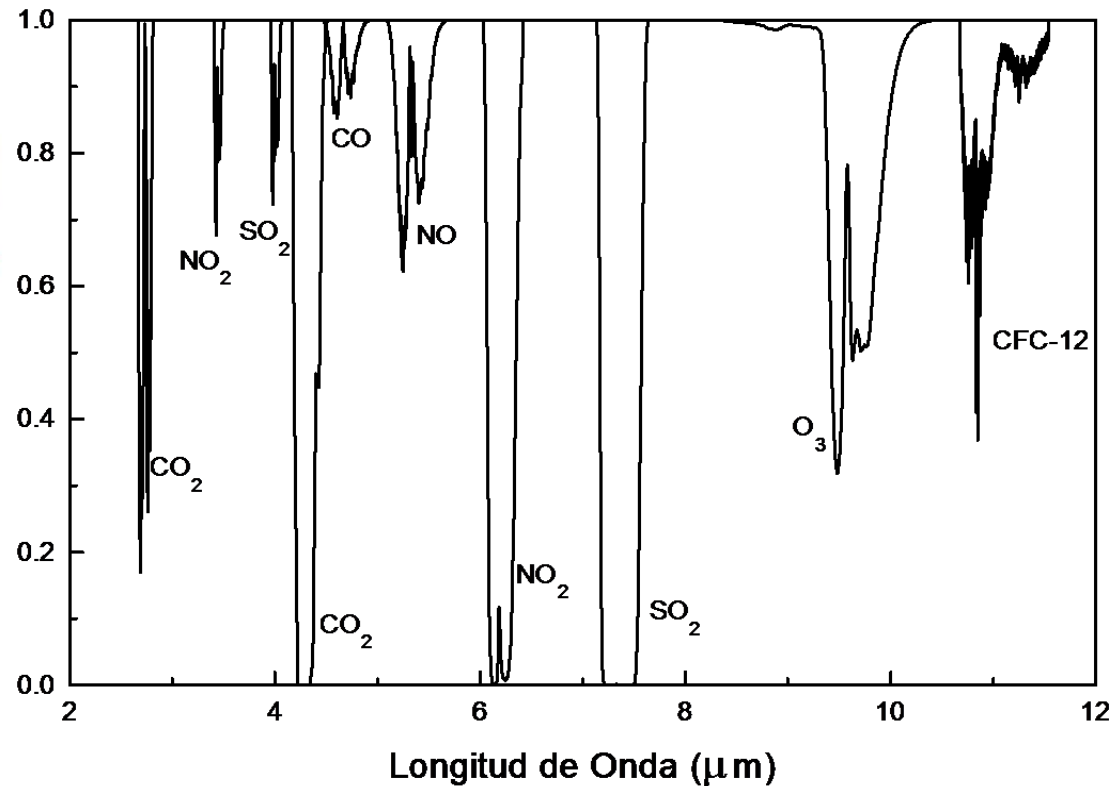
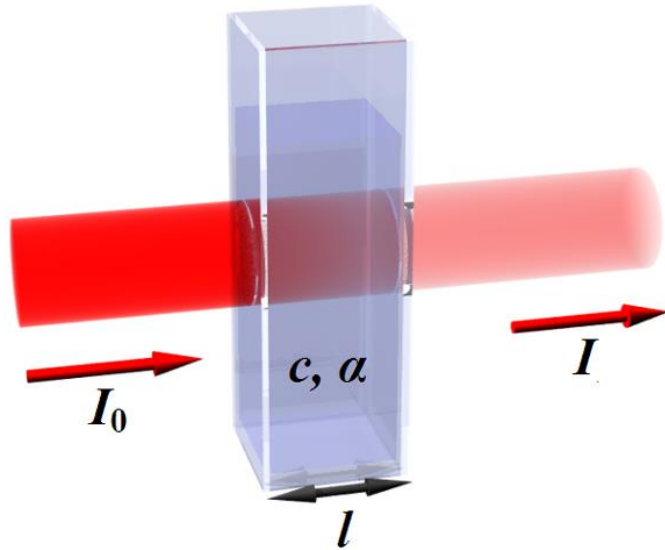
A partir de un software de elementos finitos con un módulo de transferencia de calor, el 3DFS muestra la **evolución del material en cada momento y en cada uno de sus puntos**

3D FireSimulator (3DFS) está basado en la línea de investigación del LIR-Infrared Lab of the Universidad Carlos III de Madrid (Spain) sobre la propagación de calor en materiales compuestos sometidos a fuego.

Los **parámetros térmicos han sido previamente determinados y validados por el LIR-Infrared Lab** mediante técnicas de análisis no destructivas IR (NDT-IR), entre las que se incluye el método flash.



Detección y cuantificación de gases: Principio de detección



Firma espectral de diferentes gases en el Espectro Infrarrojo

Ley Beer-Lambert
 La emisión/absorción de los gases se produce a unas longitudes de onda específicas que permiten su detección y cuantificación a distancia

Medida de temperatura de gases en combustión



Imagen Visible

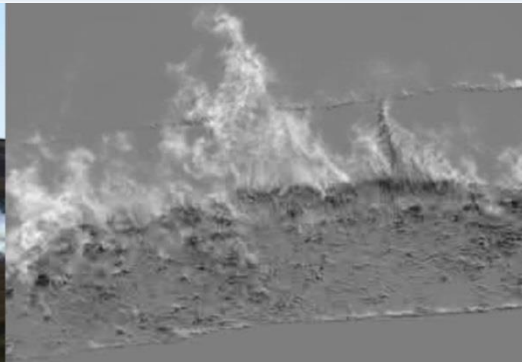


Imagen espectral.
Visión a través del humo

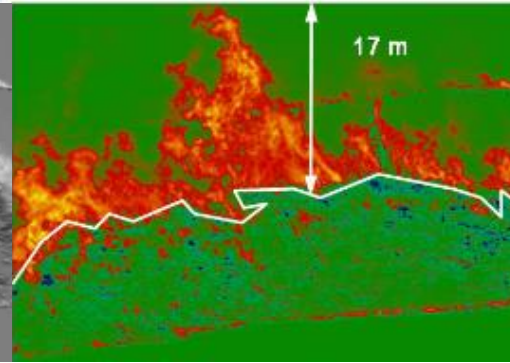
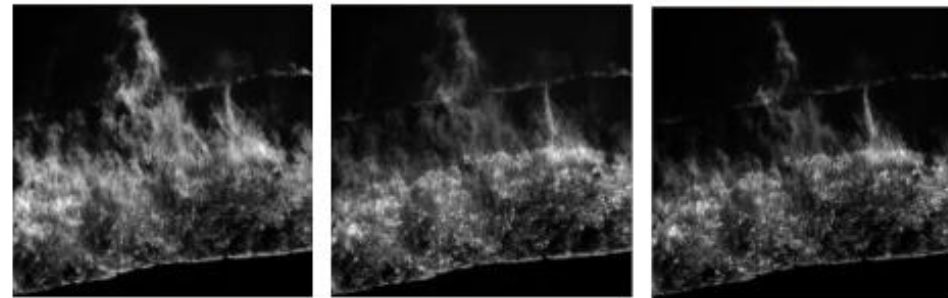


Imagen cuantitativa. Potencia, reavivamientos, altura real ...

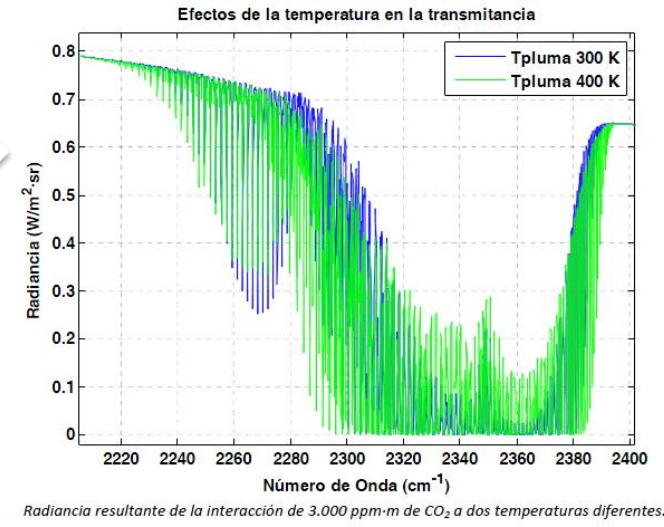
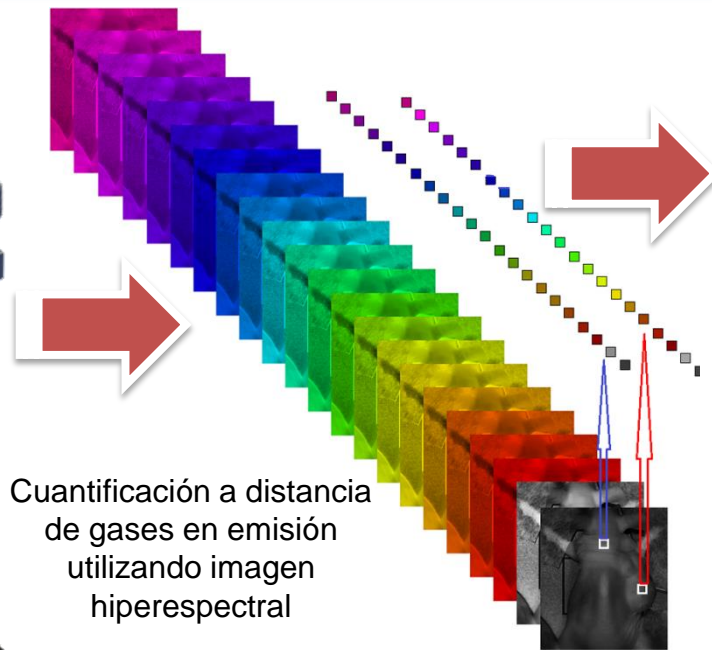
Análisis espectral para investigar y combatir los incendios forestales:

- Detección precoz
- Delimitación del frente de llama
- Visión a través del humo

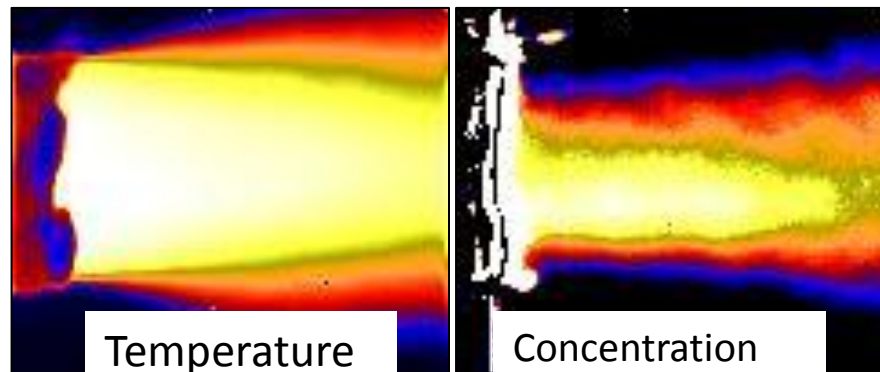


Medida mediante Imagen Espectral de
Incendios Forestales

Medición de temperatura y concentración de gases en combustión



Firma Espectral



Obtención de la concentración y temperatura del gas

Cuantificación de emisiones relativas al tráfico rodado



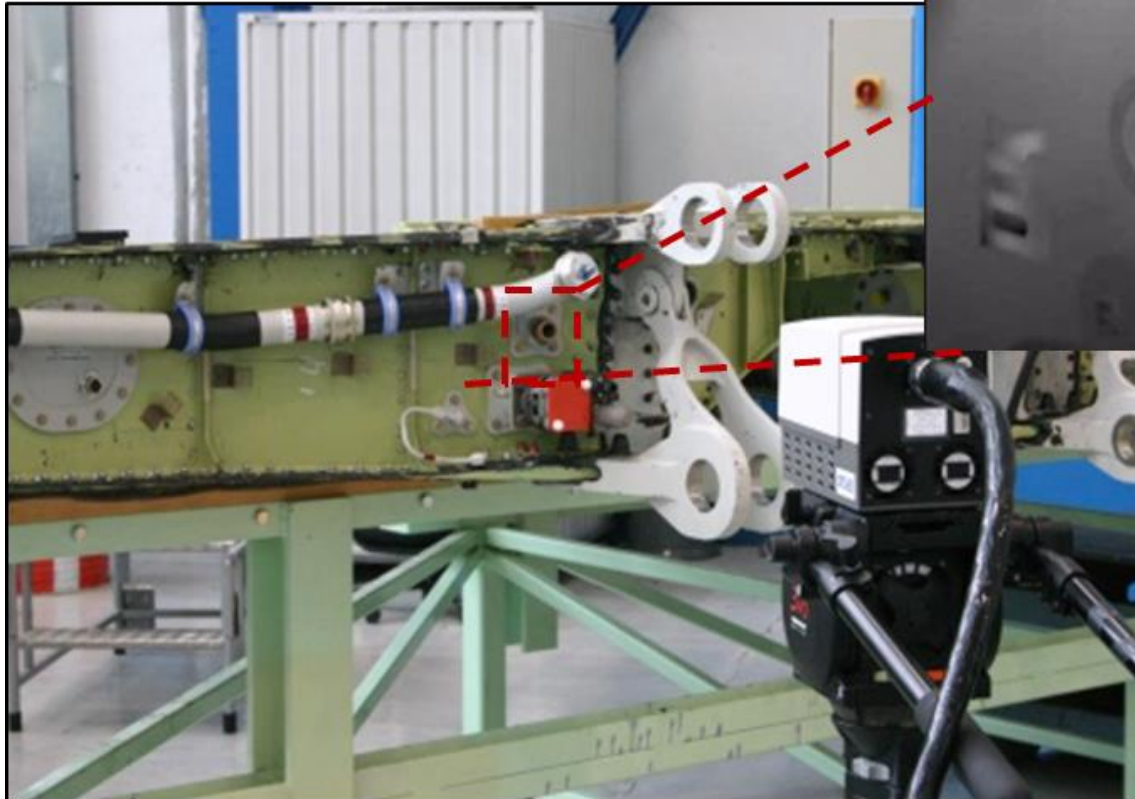
- Identificación de vehículos *high emitter*
- Obtención de la concentración de gas:
 - CO₂, CO, HCs, O₃
- Medida de partículas:
 - PM 2,5, PM 10



FTIR Measurement set up

Detección de microfugas en tanques de combustible de aeronaves

Comprobación de sellado en tanques de combustible mediante detección de fugas de CO₂ con imagen infrarroja



Detección de fugas en entornos industriales



Inspección de SO₂ para Asturiana Zinc (Glencore)



Inspección de SO₂ en la fundición de MacMoran, Arizona, USA

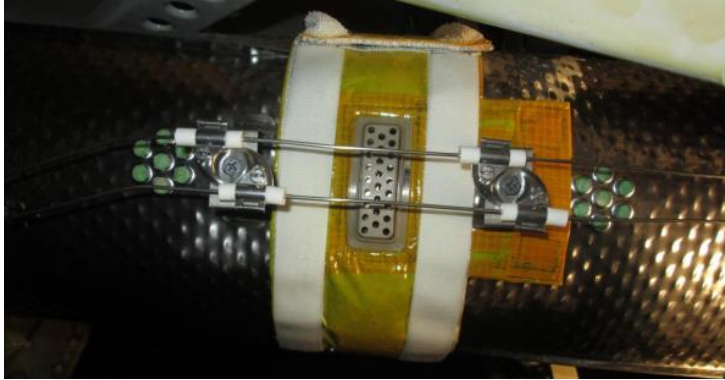


Captura de Video

Esta metodología nos permite detectar cualquier gas compuesto por moléculas polares:

- C_xH_x, H_xC_x, SF₆, CO₂, CO, VOC's, NO₂, SO₂, etc

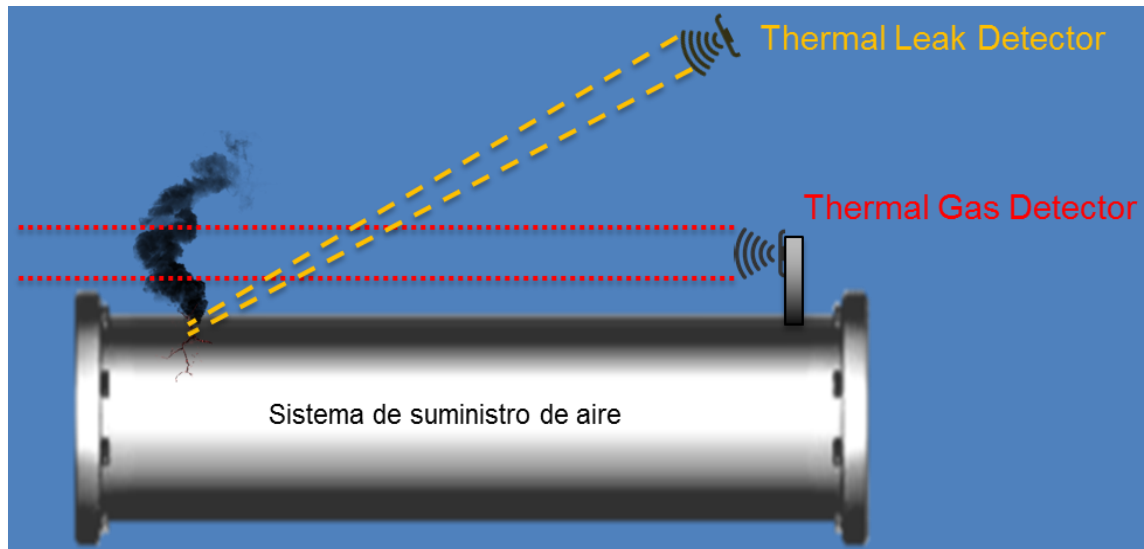
Sistema neumático de suministro de aire de la aeronave



Actual sistema de detección de fugas de AIRBUS

El aire del sistema neumático se obtiene a partir del sangrado de una de las etapas de compresión de los reactores del avión. Una **fuga**, dada la temperatura y compresión, supone un peligro para la aeronave.

En la actualidad se dispone de un sistema de sensorización basado en el cableado completo del sistema de suministro de aire.

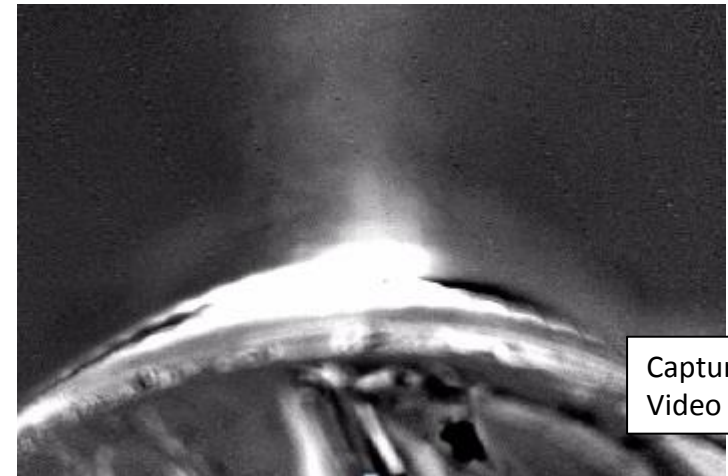
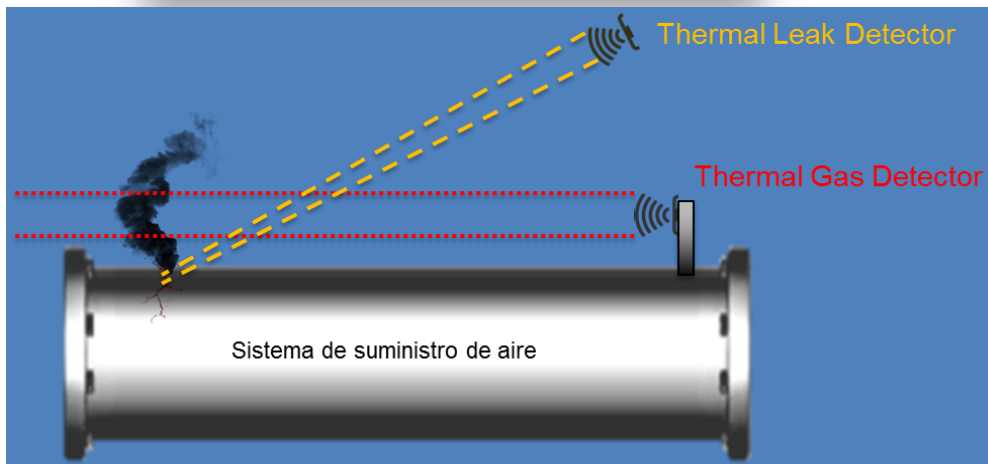
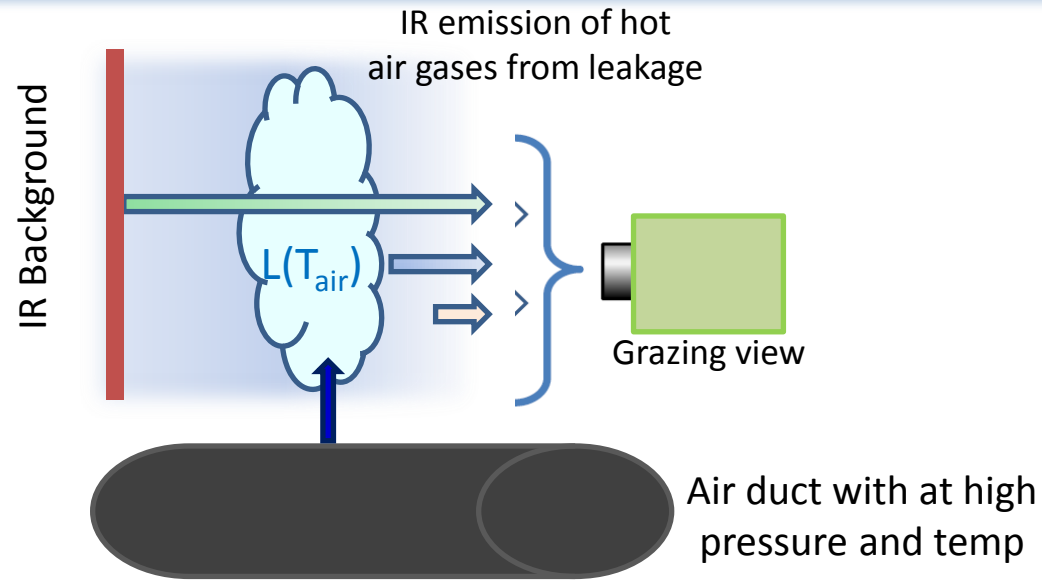


Sistema de detección propuesto por LIR-Infrared LAB

Propuesta: Nuevo sistema de detección de fugas en el sistema de suministro de aire basado en sensores ópticos IR.

- Detección del gas caliente expulsado por efecto de la fuga.
- Detección del efecto térmico de la fuga sobre el calor y fugado de la tubería.

Sistema neumático de suministro de aire de la aeronave



Hot spot & Air plume radiation

Aplicaciones Espaciales

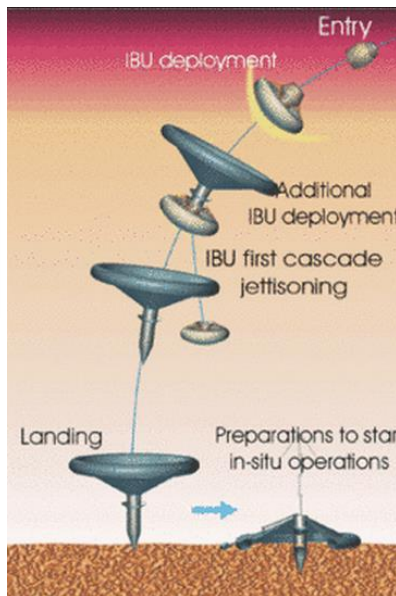
Mini-Sensor Medición de Polvo marciano

Proyecto METNET

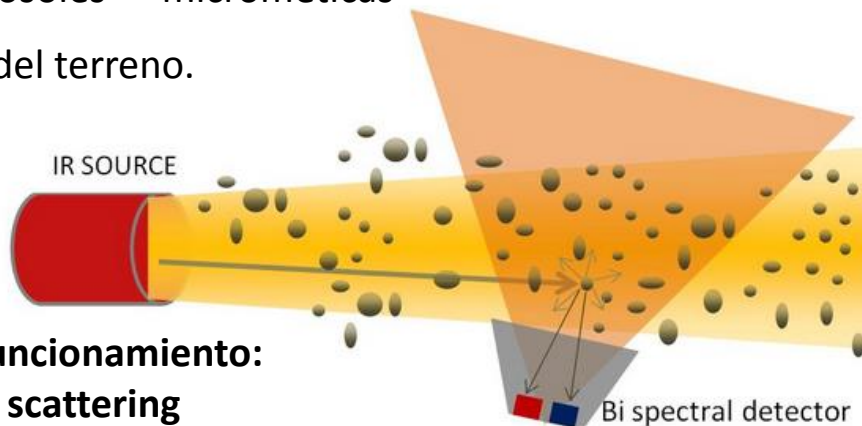
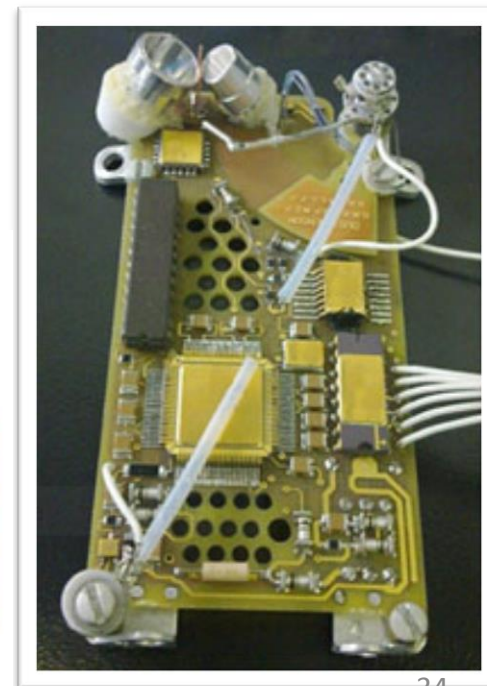
En el marco de este proyecto, el LIR-Infrared Lab ha estado al cargo del diseño y desarrollo de un micro-sensor para la caracterización del polvo en suspensión



El polvo en suspensión de la atmósfera de Marte tiene un papel fundamental en su clima: absorción/ dispersión de la radiación solar. Estas partículas aerosoles micrométricas provienen de la erosión del terreno.



Flight model Mass < 45g



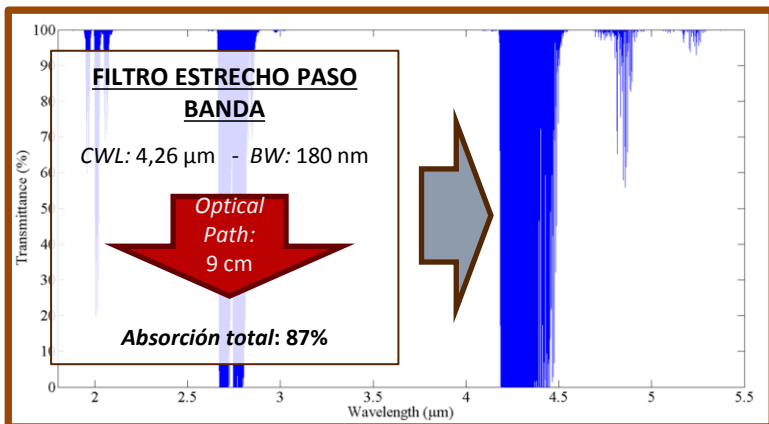
**Principio de funcionamiento:
multi-spectral scattering**

Aplicaciones Espaciales

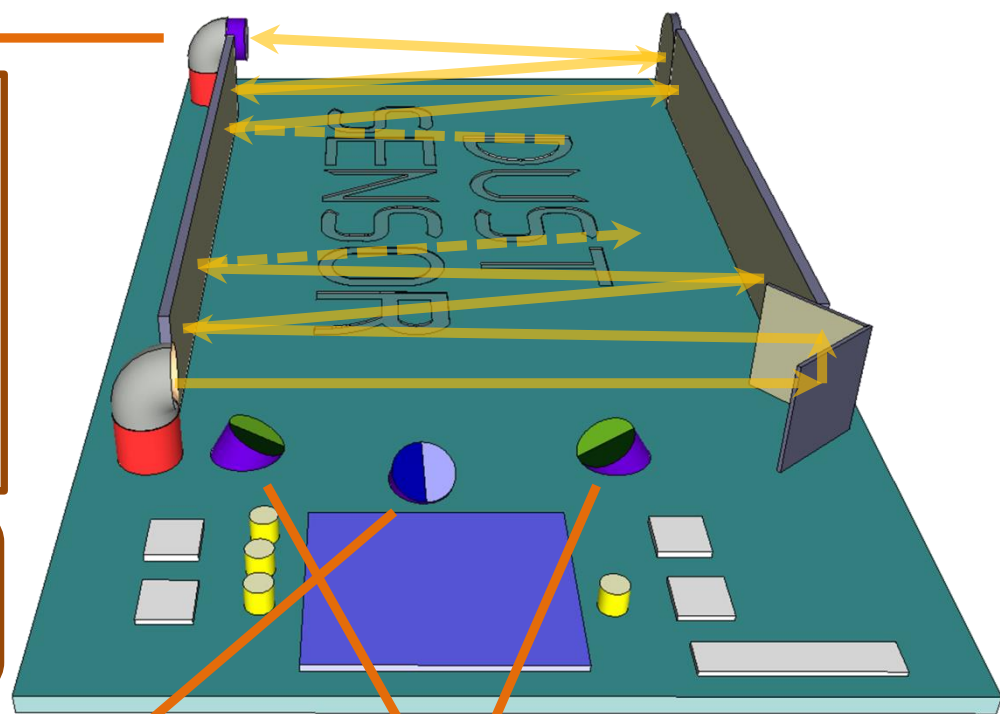
Mini-Sensor Medición de Polvo marciano

DS2 – Final Structure
Parameters to measure: Dust, CO₂, Temperature

CO₂ Detection



More absorption, more accurate measure  Multireflexion System for increasing open path length

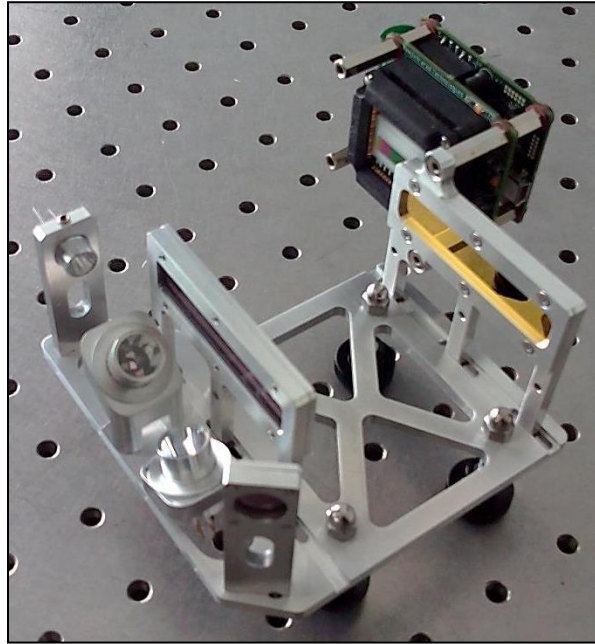


Temperature Measurement

Particle detection

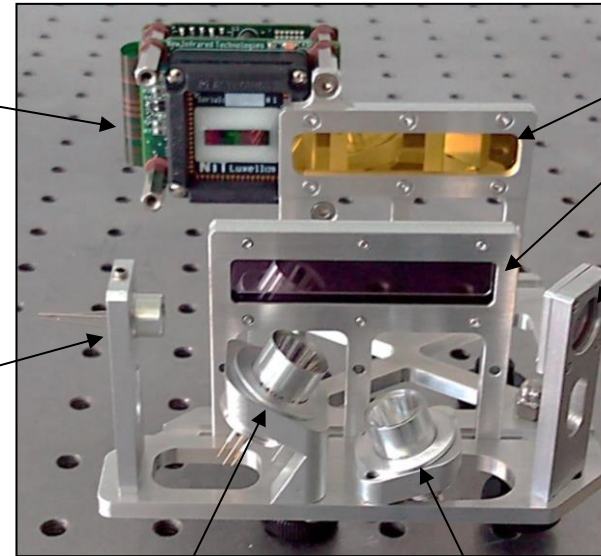
Aplicaciones Espaciales

Mini-Sensor Medición de Polvo marciano



LVF
(Linear
Variable
Filter)

IR Emitter

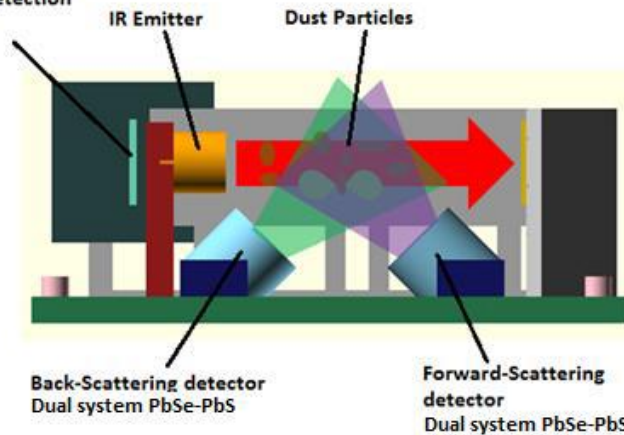


IR
Mirrors

Back-Scattering detector
Dual system PbSe-PbS

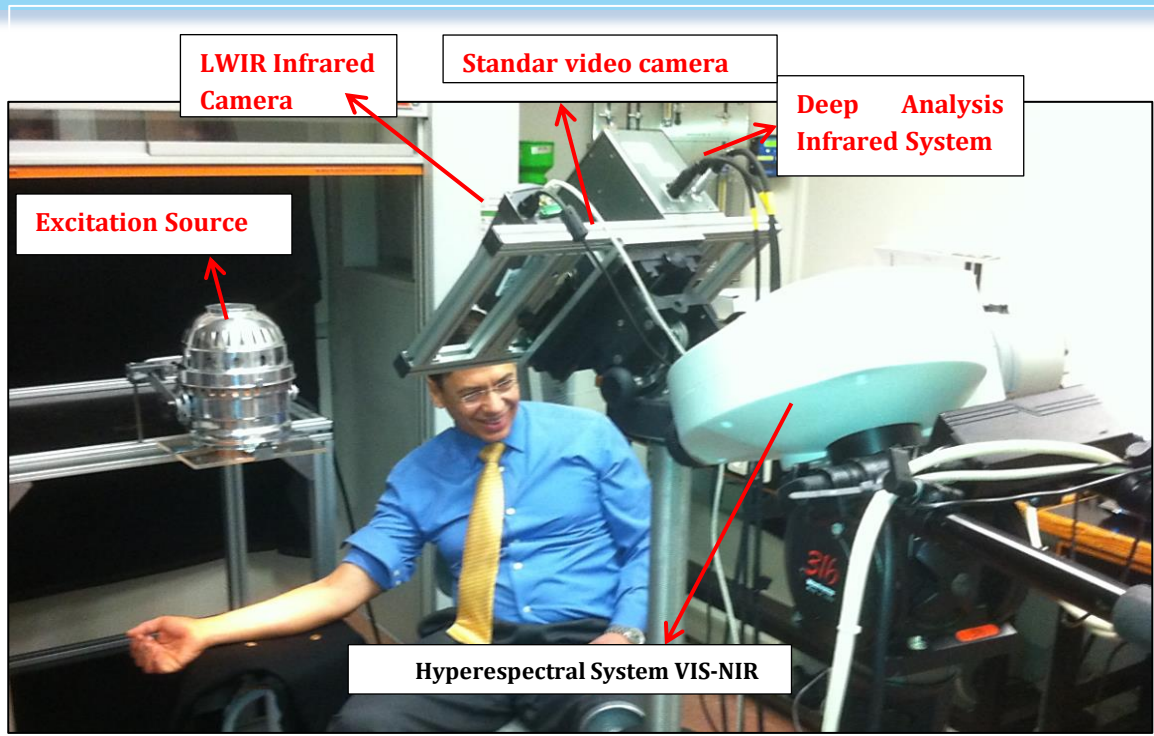
Foward-Scattering detector
Dual system PbSe-PbS

Linear array 128 elements with LVF
(Linear Variable Filter) to gas detection
and IR emitter calibration

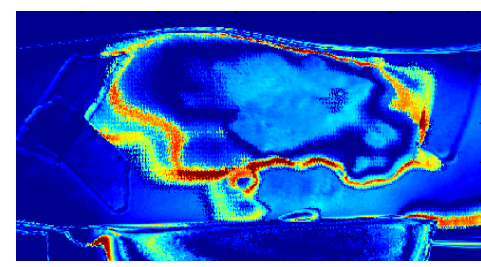


DS2 – Final Structure
**Parameters to measure: Dust, CO₂,
 Temperature**

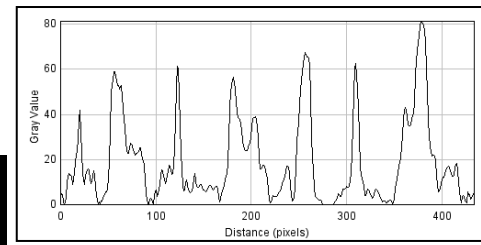
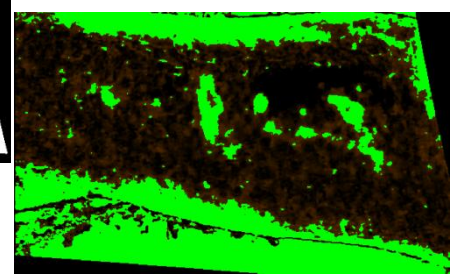
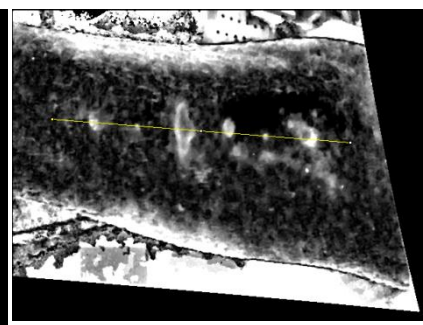
Aplicaciones Biomedicina



Atopic Dermatitis



Active Thermography



Aplicaciones Arte

Reflectografía Infrarroja

Sistema de imagen
térmica

Fuentes de excitación
térmica por pulso flash



PC & sistema de control

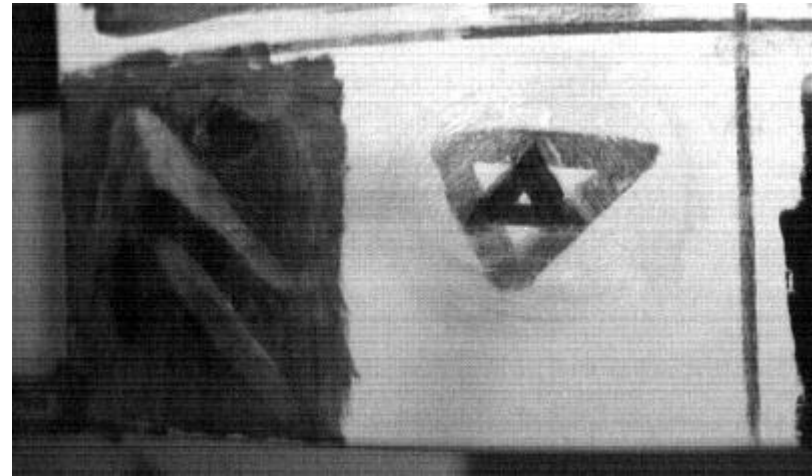
Aplicaciones Arte

Reflectografía Infrarroja

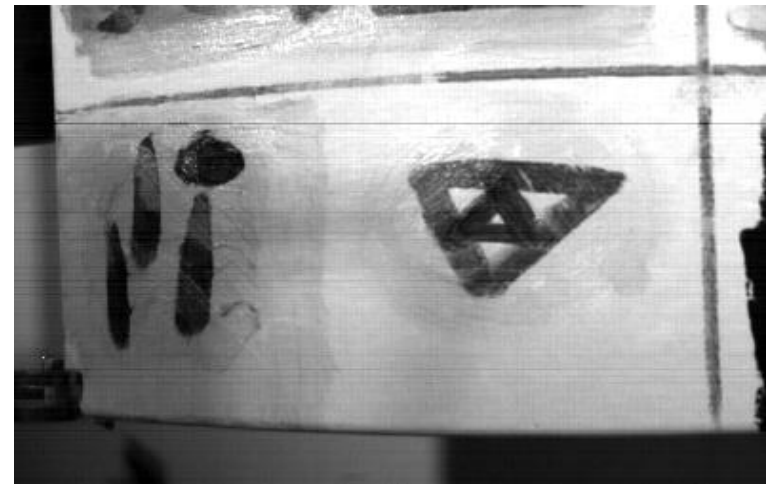
Imagen visible



975 nm



1440 nm



Sistema hiperespectral SWIR
Detección de repintados y
arrepentimientos.
Detección de falsificaciones

Más información:

www.lir.uc3m.es

+34916249962

Contacto: lir@uc3m.es



Universidad
Carlos III de Madrid

INFRARED LAB
