

Medición de Emisividad Infrarroja Espectral y Direccional de Alta Precisión en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

J. Gabirondo-López

M. Sainz-Menchón

I. González de Arrieta

R. Fuente

T. Echániz

I. López-Ferreño

I. Arredondo

J. M. Igartua

G. A. López

1. Introducción

conceptos teóricos

- Definición de emisividad:

$$\varepsilon_s (T_S, \theta, \lambda) = \frac{L_S (T_S, \theta, \lambda)}{L_{BB} (T_S, \lambda)}$$

1. Introducción

conceptos teóricos

- Definición de emisividad:

$$\varepsilon_s (T_S, \theta, \lambda) = \frac{L_S (T_S, \theta, \lambda)}{L_{BB} (T_S, \lambda)}$$

- La emisividad **infrarroja** es crítica para caracterizar las transferencias de **calor por radiación**.

1. Introducción

conceptos teóricos

- Definición de emisividad:

$$\varepsilon_s (T_S, \theta, \lambda) = \frac{L_S (T_S, \theta, \lambda)}{L_{BB} (T_S, \lambda)}$$

- La emisividad **infrarroja** es crítica para caracterizar las transferencias de **calor por radiación**.
- Tiene un alto interés científico e industrial:
 - calibración de **medidas pirométricas**.
 - desarrollo de **elementos de energía solar**.

1. Introducción

desarrollo del emisómetro

HAIRL: (*High Accuracy Infrared Radiometer, Leioa*)

2002 - 2012:

- Primera puesta a punto del emisómetro.
- Tesis doctorales:
 - Dra. Leire del Campo
 - Dr. Luis González-Fernández
- Medidas de aleaciones de interés industrial y estudio de oxidaciones:

hierro ARMCO

Haynes

Inconel

René

1. Introducción

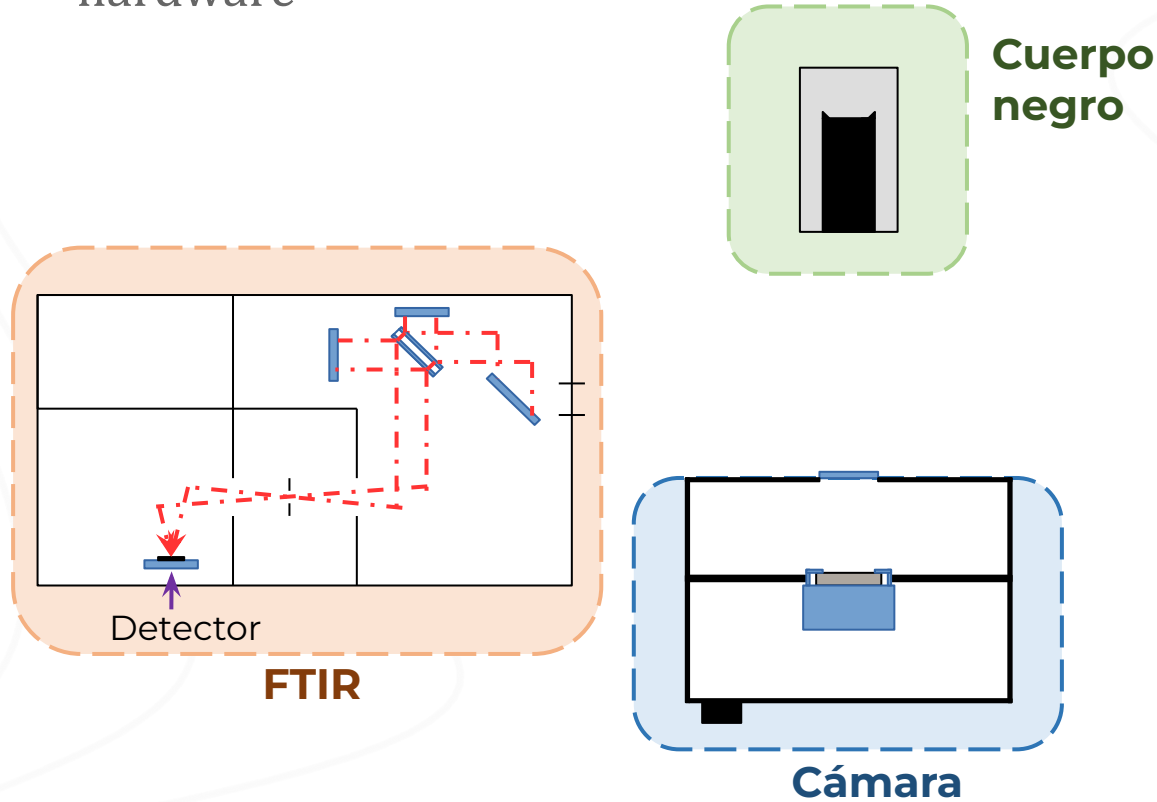
desarrollo del emisómetro

2012 - 2020:

- Tesis doctorales:
 - Dr. Telmo Echániz
 - Dr. Iñigo González de Arrieta
- Medidas de materiales para la industria energética:
 - aleaciones para el almacenamiento de energía.
 - recubrimientos para sistemas CSP.
- Actualización del método de medida para comenzar a medir **materiales cerámicos.**

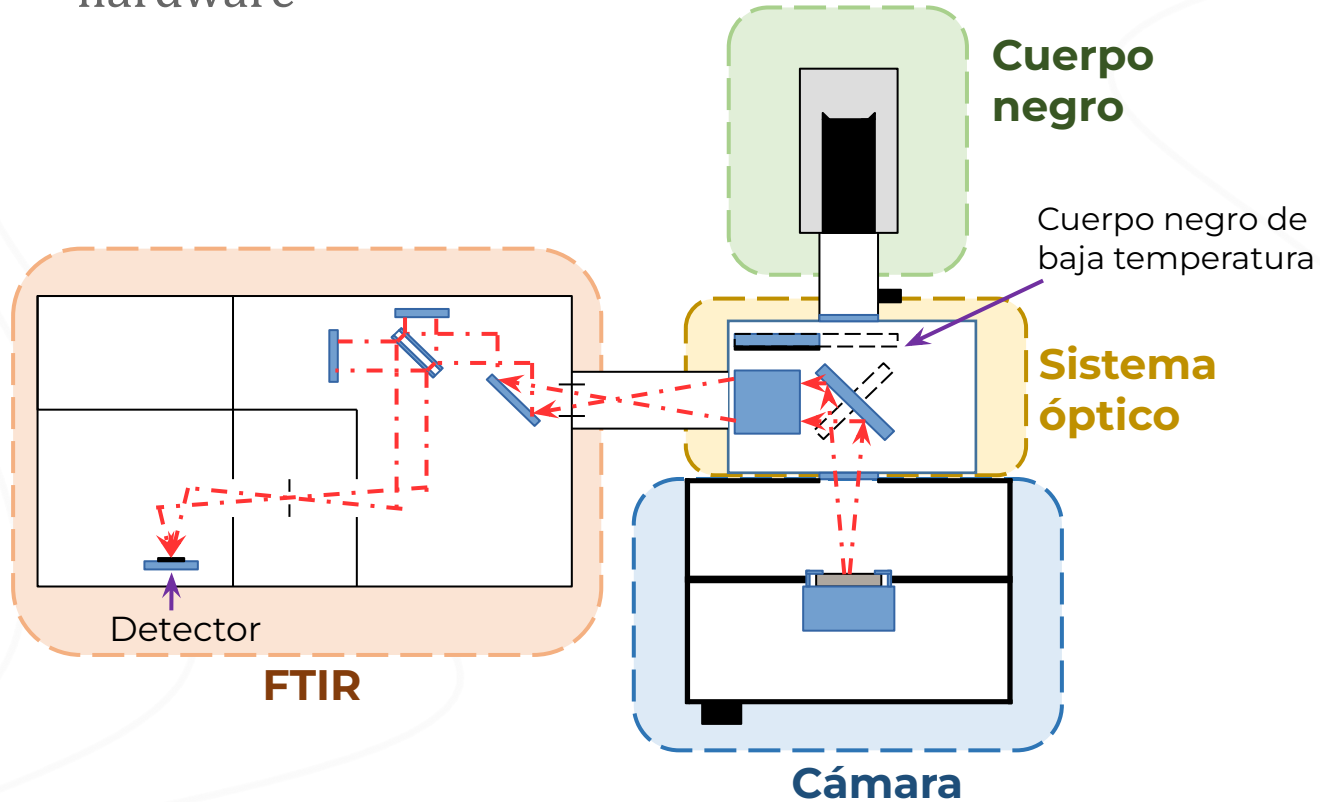
2. Instrumentación y metodología:

hardware



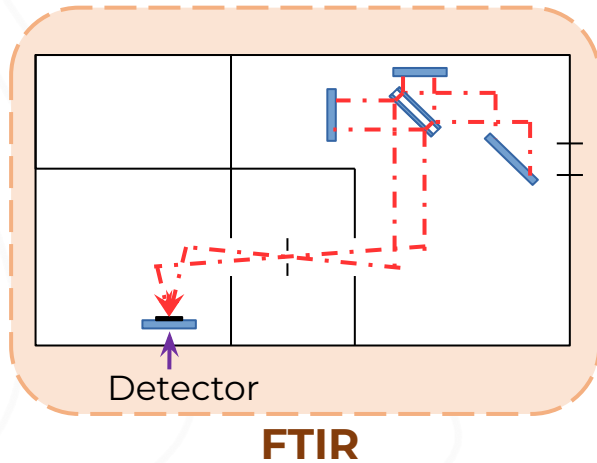
2. Instrumentación y metodología:

hardware



2. Instrumentación y metodología:

hardware



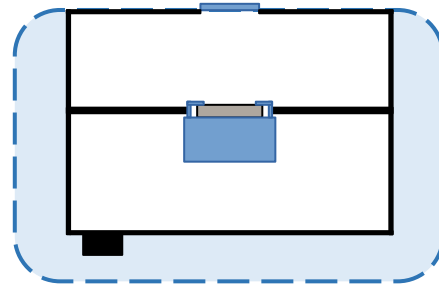
FTIR Bruker IFS 66v/s:

- Detector DLaTGS.
- Rango: $\sigma = 400 - 7000 \text{ cm}^{-1}$
- Resolución: $\Delta\sigma = 8 \text{ cm}^{-1}$

2. Instrumentación y metodología:

hardware

- Medidas hasta a 1273 K.
- Pintada con Nextel 811-21.
- Diferentes atmósferas: reductora, inerte y vacío.
- Refrigerada por agua.



Cámara

2. Instrumentación y metodología:

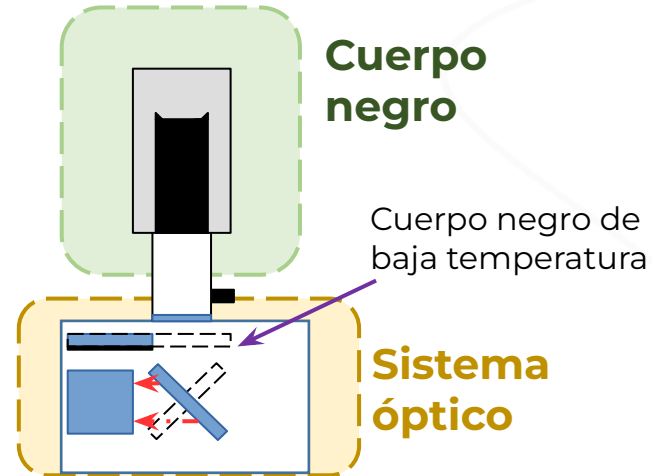
hardware

CN Isotech Pegasus 970 R:

- Emisividad certificada superior a 0,995.

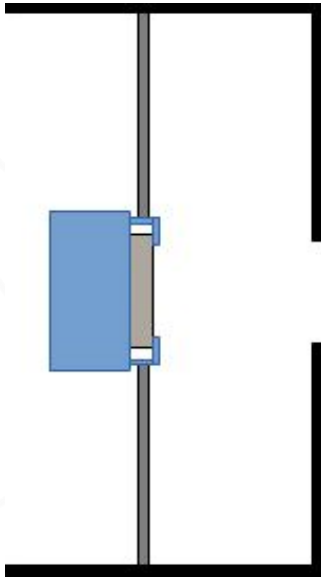
CN baja T:

- Chapa pintada con Nextel 811-21.



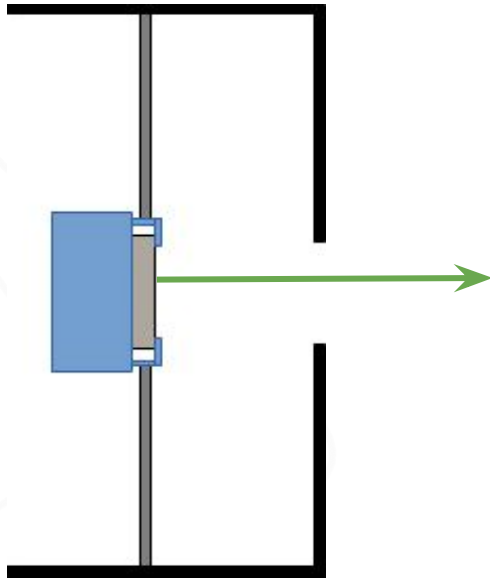
2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

Método **blacksur modificado** :



2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

Método **blacksur modificado** :

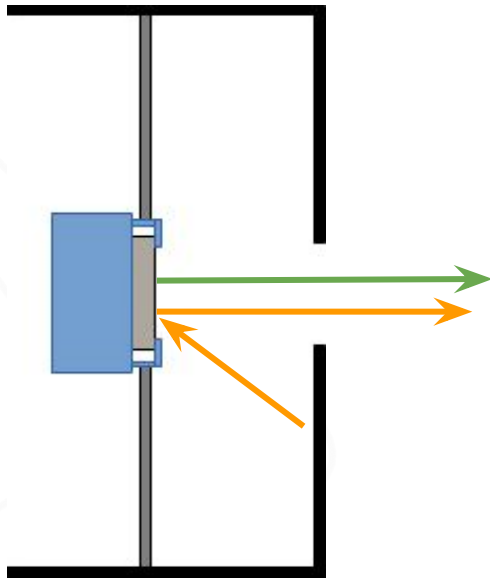


Radiancia que sale de la cámara:

$$L(\lambda) = \varepsilon_S(T_S, \theta, \lambda) L_{BB}(T_S, \lambda)$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

Método **blacksur modificado** :

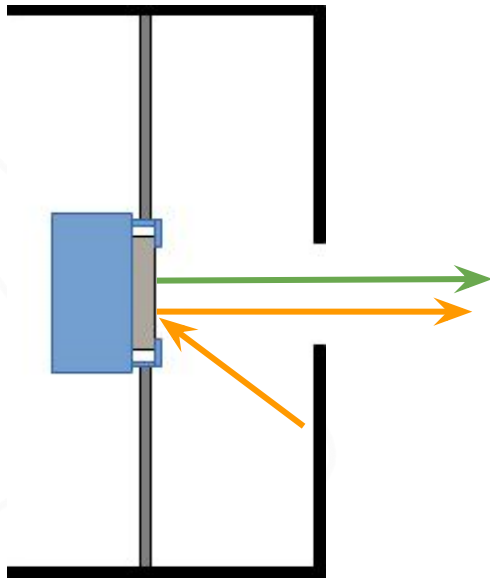


Radiancia que sale de la cámara:

$$L(\lambda) = \boxed{\varepsilon_S(T_S, \theta, \lambda) L_{BB}(T_S, \lambda)} + \boxed{(1 - \varepsilon_S(T_S, \theta, \lambda)) \varepsilon_{sur} L_{BB}(T_{sur}, \lambda)}$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

Método **blacksur modificado** :



Radiancia que sale de la cámara:

$$L(\lambda) = \boxed{\varepsilon_S(T_S, \theta, \lambda) L_{BB}(T_S, \lambda)} + \boxed{(1 - \varepsilon_S(T_S, \theta, \lambda)) \varepsilon_{sur} L_{BB}(T_{sur}, \lambda)}$$

Señal medida por el detector:

$$S(\lambda) = R(\lambda) \cdot L(\lambda) + S_0(\lambda)$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

- Calibración respuesta FTIR: dos medidas de cuerpo negro

$$T_{BB1}, T_{BB2} \longrightarrow S_{BB1}, S_{BB2}$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

- Calibración respuesta FTIR: dos medidas de cuerpo negro

$$T_{BB1}, T_{BB2} \longrightarrow S_{BB1}, S_{BB2}$$

- Medida de la muestra

$$T_S, T_{sur} \longrightarrow S_S$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

- Calibración respuesta FTIR: dos medidas de cuerpo negro

$$T_{BB1}, T_{BB2} \longrightarrow S_{BB1}, S_{BB2}$$

- Medida de la muestra

$$T_S, T_{sur} \longrightarrow S_S$$

- Cálculo de la emisividad

$$\left. \begin{array}{l} S_S, S_{BB1}, S_{BB2} \\ T_S, T_{sur}, T_{BB1}, T_{BB2} \\ \varepsilon_{sur}, \varepsilon_{BB1}, \varepsilon_{BB2} \end{array} \right\} \varepsilon_S (T_S, \theta, \lambda)$$

2. Instrumentación y metodología: método de medida y fuentes de error

Fuentes de error y cálculo de incertidumbres:

de Arrieta, I. G., Echániz, T., Fuente, R., Campillo-Robles, J. M., Igartua, J. M., & López, G. A. (2020). Updated measurement method and uncertainty budget for direct emissivity measurements at the University of the Basque Country. *Metrologia*, 57(4), 045002.

2. Instrumentación y metodología: limitaciones del equipo

- El FTIR Bruker IFS 66v/S está descatalogado.

2. Instrumentación y metodología: limitaciones del equipo

- El FTIR Bruker IFS 66v/S está descatalogado.
- El resto de elementos necesita ser revisado:
 - sistemas de **calefacción** y **rotación** de la muestra.
 - sistemas de **vacío** y de **refrigeración** de la cámara.

2. Instrumentación y metodología:

limitaciones del equipo

- El FTIR Bruker IFS 66v/S está descatalogado.
- El resto de elementos necesita ser revisado:
 - sistemas de **calefacción** y **rotación** de la muestra.
 - sistemas de **vacío** y de **refrigeración** de la cámara.
- La metodología actual solo puede usarse en materiales opacos.

3. Perspectivas: mejoras instrumentales

Actualización de los **sensores**:

- Instalación del FTIR Bruker Vertex 80v.

3. Perspectivas: mejoras instrumentales

Actualización de los **sensores**:

- Instalación del FTIR Bruker Vertex 80v.
- Retirada de los termopares tipo K e instalación de termopares N y T.

3. Perspectivas: mejoras instrumentales

Actualización de los **sensores**:

- Instalación del FTIR Bruker Vertex 80v.
- Retirada de los termopares tipo K e instalación de termopares N y T.
- Digitalización de los sensores de vacío.

3. Perspectivas:

mejoras instrumentales

Actualización de los **actuadores**:

- Implementación de un **controlador por rechazo activo de perturbaciones** para controlar la temperatura de la superficie de la muestra.

3. Perspectivas:

mejoras instrumentales

Actualización de los **actuadores**:

- Implementación de un **controlador por rechazo activo de perturbaciones** para controlar la temperatura de la superficie de la muestra.
- Instalación de un refrigerador por circulación.

3. Perspectivas:

mejoras instrumentales

Actualización de los **actuadores**:

- Implementación de un **controlador por rechazo activo de perturbaciones** para controlar la temperatura de la superficie de la muestra.
- Instalación de un refrigerador por circulación.
- Puesta en marcha del motor por pasos para rotar la muestra.

3. Perspectivas:

mejoras de software

Obtener un instrumento **modular** y **autónomo**, formado de elementos **independientes**.

- Todos los componentes se conectan mediante Ethernet.

3. Perspectivas:

mejoras de software

Obtener un instrumento **modular** y **autónomo**, formado de elementos **independientes**.

- Todos los componentes se conectan mediante Ethernet.
- Control mediante Python, monitorización mediante InfluxDB y Grafana.

3. Perspectivas:

mejoras de software

Obtener un instrumento **modular** y **autónomo**, formado de elementos **independientes**.

- Todos los componentes se conectan mediante Ethernet.
- Control mediante Python, monitorización mediante InfluxDB y Grafana.
- Definición **declarativa** de los experimentos.

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Calibración y actualización del cálculo de errores de medidas de materiales opacos.

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Calibración y actualización del cálculo de errores de medidas de materiales opacos.
- Desarrollo de un método de medida para materiales semitransparentes.

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Calibración y actualización del cálculo de errores de medidas de materiales opacos.
- Desarrollo de un método de medida para materiales semitransparentes.
- Validación con otros laboratorios:
 - *Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).*
 - *Conditions Extrêmes et Matériaux: Haute Température et Irradiation (CEMHTI).*

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Mejorar la reproducibilidad de las medidas.

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Mejorar la reproducibilidad de las medidas.
- Buscar patrones de emisividad.

3. Perspectivas:

mejoras metodológicas y científicas

- Mejorar la reproducibilidad de las medidas.
- Buscar patrones de emisividad.
- Desplegar una base de datos de medidas de emisividad.

4. Conclusiones:

- Se va a actualizar el emisómetro HAIRL a todos los niveles: hardware, software y metodología.

4. Conclusiones:

- Se va a actualizar el emisómetro HAIRL a todos los niveles: hardware, software y metodología.
- Mejora de la reproducibilidad y repetibilidad de las medidas.

4. Conclusiones:

- Se va a actualizar el emisómetro HAIRL a todos los niveles: hardware, software y metodología.
- Mejora de la reproducibilidad y repetibilidad de las medidas.
- Inicio de medidas de materiales semitransparentes.

4. Conclusiones:

- Se va a actualizar el emisómetro HAIRL a todos los niveles: hardware, software y metodología.
- Mejora de la reproducibilidad y repetibilidad de las medidas.
- Inicio de medidas de materiales semitransparentes.
- Trabajo en la estandarización de las medidas de emisividad.

4. Conclusiones:

- Se va a actualizar el emisómetro HAIRL a todos los niveles: hardware, software y metodología.
- Mejora de la reproducibilidad y repetibilidad de las medidas.
- Inicio de medidas de materiales semitransparentes.
- Trabajo en la estandarización de las medidas de emisividad.
- A largo plazo, buscar la trazabilidad de las medidas al Sistema Internacional de Unidades.

Medición de Emisividad Infrarroja Espectral y Direccional de Alta Precisión en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Agradecimientos:

- Universidad del País Vasco (GIU19/019 y PIF 21/06)
- Gobierno Vasco (IT-1714-22, PIBA-2021-1-0022 y POS-2021-2-0022)

Contacto:

jon.gabirondol@ehu.eus



ZIENTZIA
ETA TEKNOLOGIA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA

