

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICION DE EMISIVIDAD ESPECTRAL

**Dr. Saúl Javier Luyo Alvarado,  
CENAM, sluyo@cenam.mx**



**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# INDICE

---

1. INTRODUCCION

2. FUNDAMENTOS TEORICOS

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4. AVANCES , RESULTADOS

5. CONCLUSIONES



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# OBJETIVO

---

Desarrollar sistema referencia de medición de emisividad de fuentes de radiación, materiales industriales

Intervalo temperaturas: 20°C a 1000°C

intervalo de longitudes de onda: 2 a 20 micrómetros ( $\mu\text{m}$ )

mediciones de la radiancia espectral y de reflectancia difusa en función de la temperatura y de la longitud de onda.



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# EIT-90

---

## Para temperaturas > 962°C (punto de solidificación de Ag)

medición de T a través ley de Planck

Puntos fijos de plata 962°C , Oro 1064°C, y cobre 1085°C

T > 1100°C, transferencia a lámparas tungsteno filamento de cinta

## Para temperaturas < 962°C

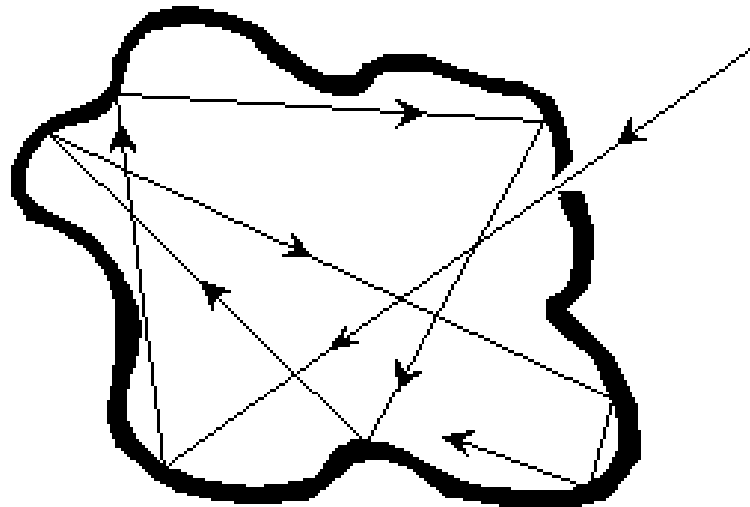
calibración termómetros de radiación (TR) con cavidades de cuerpos negros, cuya T se mide con un termómetro de resistencia de platino patrón (TRP) o, para obtener una mejor exactitud se pueden usar cuerpos negros con puntos de solidificación de Al( 660°C), Zn(420°C) y Sn (232C).

# Fundamentos teóricos

---

Un objeto a una temperatura  $T > 0$  emite radiación electromagnética

Cuerpo negro, superficie ideal, absorbe toda radiación incidente



---

Ley de Planck:

$$L_{CN}(\lambda, T) = \frac{c_{1L}}{\lambda^5 \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad [W \cdot m^{-3} \cdot sr^{-1}]$$

# Emisividad

La emisividad espectral direccional se define como la razón de la radiancia espectral  $L_{\lambda}(\theta, \lambda, \varphi, T)$  de la muestra con respecto a la de un cuerpo negro a la misma temperatura

$$\varepsilon = \frac{L_{\lambda}(\lambda, \theta, \varphi, T)}{L_{cn}(\lambda, \theta, T)}$$

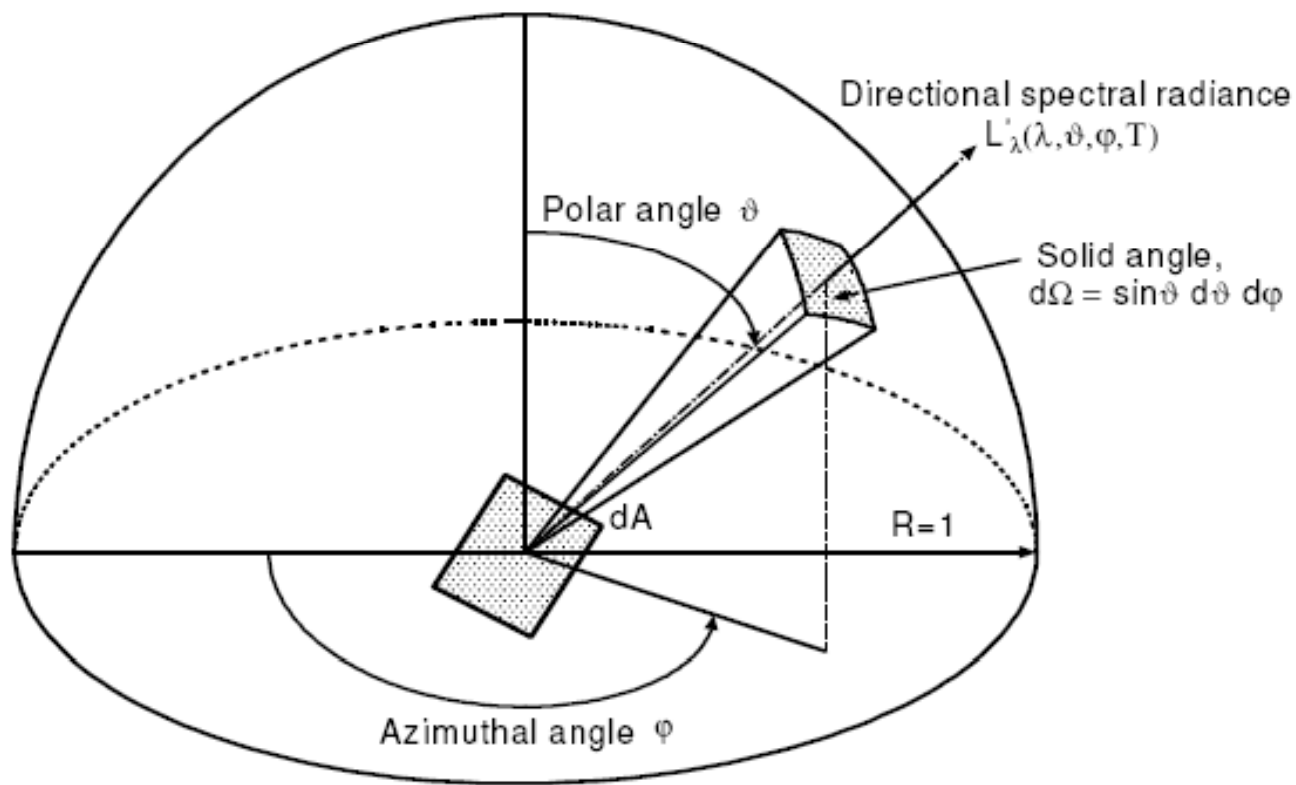
La ley de Kirchhoff establece que en una caja isotérmica en equilibrio termodinámico la emisividad es igual a la absorción:

$$\varepsilon(\lambda, \theta, \varphi, T) = \alpha(\lambda, \theta, \varphi, T)$$

Si se tiene una superficie aproximadamente isotérmica esta ley puede aplicarse con errores despreciables.

Para una superficie opaca su emisividad direccional espectral  $\varepsilon(\lambda, \theta, \varphi, T)$  puede ser calculada utilizando la ley de conservación de la energía y midiendo experimentalmente la reflectancia espectral  $R(\lambda, \theta, \varphi, T)$  con la siguiente relación:

$$\varepsilon(\lambda, \theta, \varphi, T) + R(\lambda, \theta, \varphi, T) = 1$$





## PRINCIPIOS FISICOS

La emisividad espectral hemisférica esta definida como la razón de la potencia emisiva de un cuerpo a la de un cuerpo negro a la misma temperatura

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{M_{\lambda}(\lambda, T)}{M_{\lambda,b}(\lambda, T)}$$

Esta cantidad también puede ser calculada por integración de la emisividad espectral direccional sobre todas las direcciones de una envoltura hemisférica que cubre la superficie :

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{1}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi/2} \varepsilon'_{\lambda}(\lambda, \vartheta, \varphi, T) \cos \vartheta \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi$$

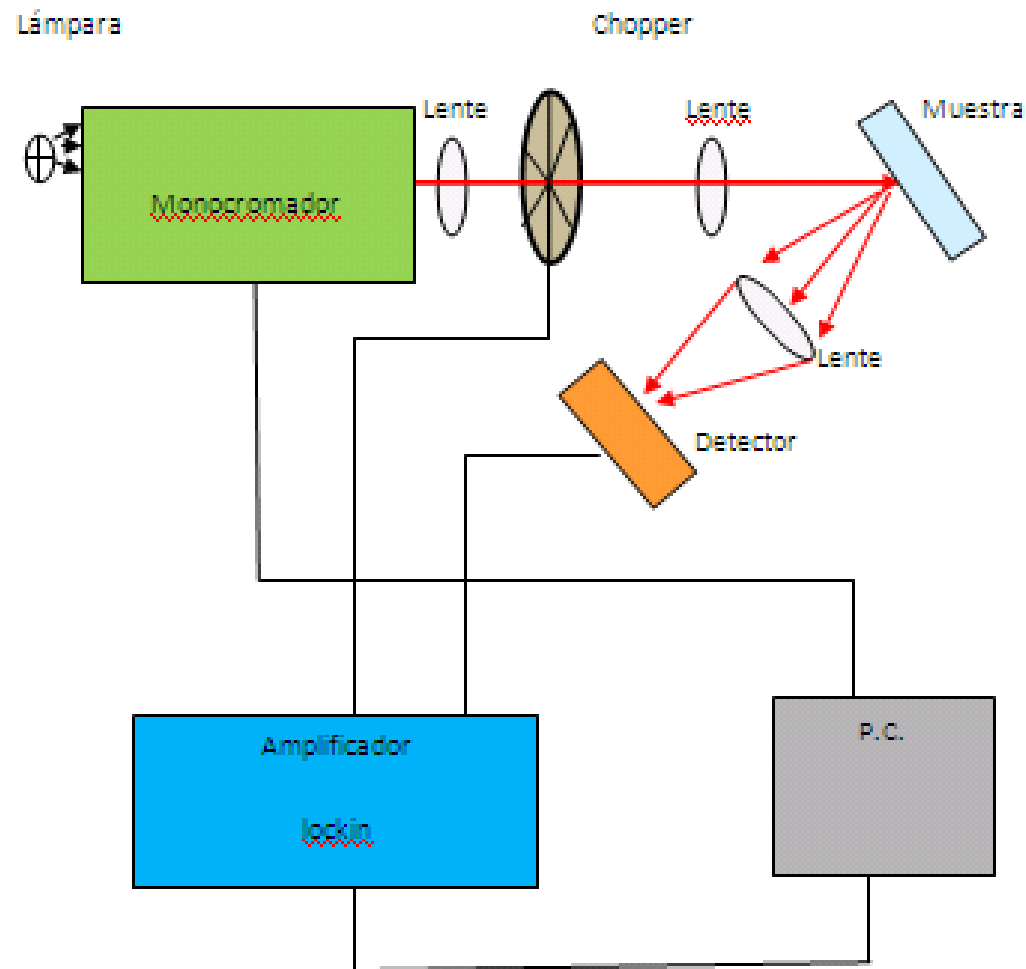
# Interaccion radiacion y materia

La radiación térmica de una superficie, naturaleza electromagnética  
Las relaciones, propiedades de un material y parámetros ópticos y eléctricos,  
interacción campo electromagnético con materia, ecuaciones MAXWELL  
funciones ópticas

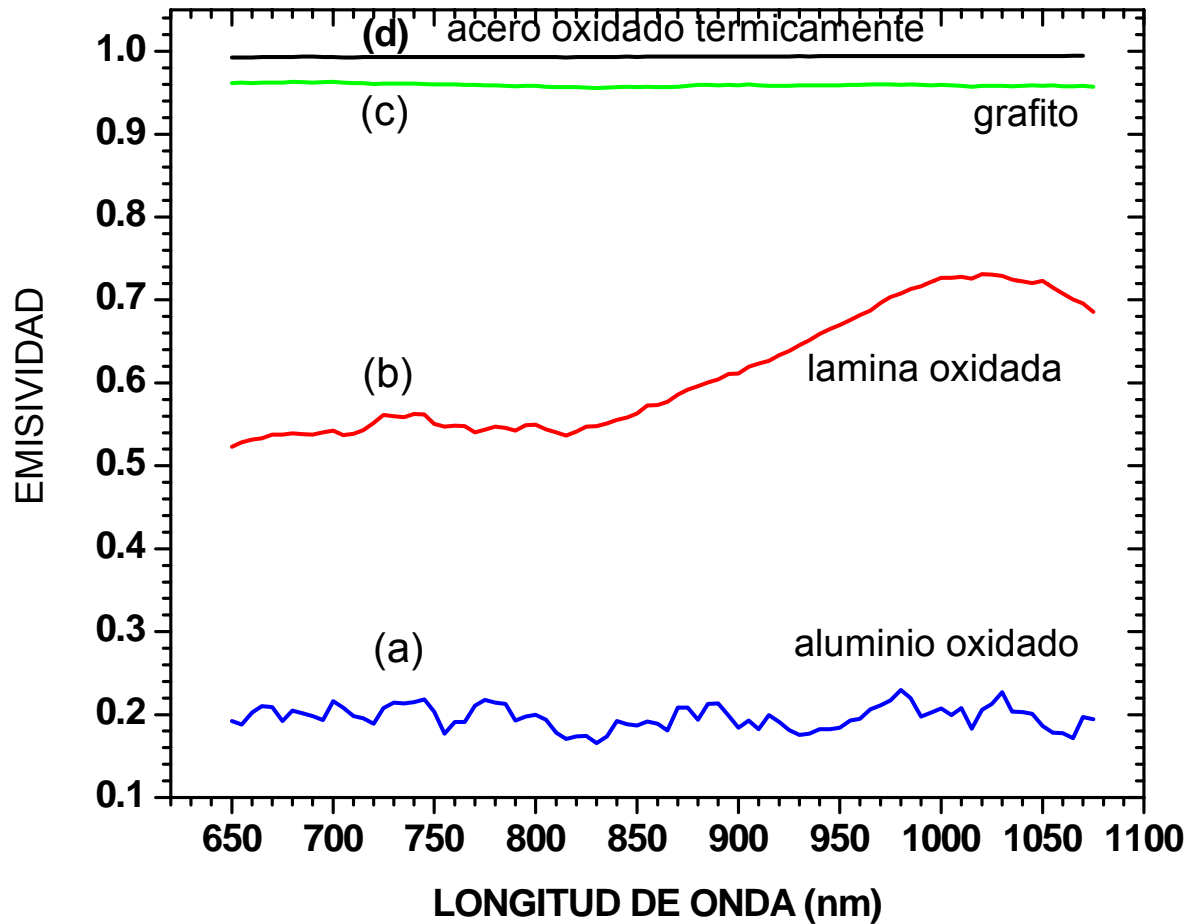
$$n = c_0 \sqrt{\frac{\mu\mu_0\epsilon\epsilon_0}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon_0} \right)^2} \right]}$$

$$k = c_0 \sqrt{\frac{\mu\mu_0\epsilon\epsilon_0}{2} \left[ -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon_0} \right)^2} \right]}$$

# Procedimiento experimental: 1 etapa



T = 23 °C



## Procedimiento experimental: etapa 2

---

### Metodo directo

El método experimental propuesto para medir la emisividad consiste en comparar las radiancias espectrales emitidas por las fuentes con la radiancia espectral de un cuerpo negro de referencia a una cierta temperatura.

Para la comparación se usará un espectrómetro de Transformada de Fourier (FTIR). El cual utiliza un interferómetro de Michelson y el espectro se obtiene mediante la Transformada de Fourier del interferograma.

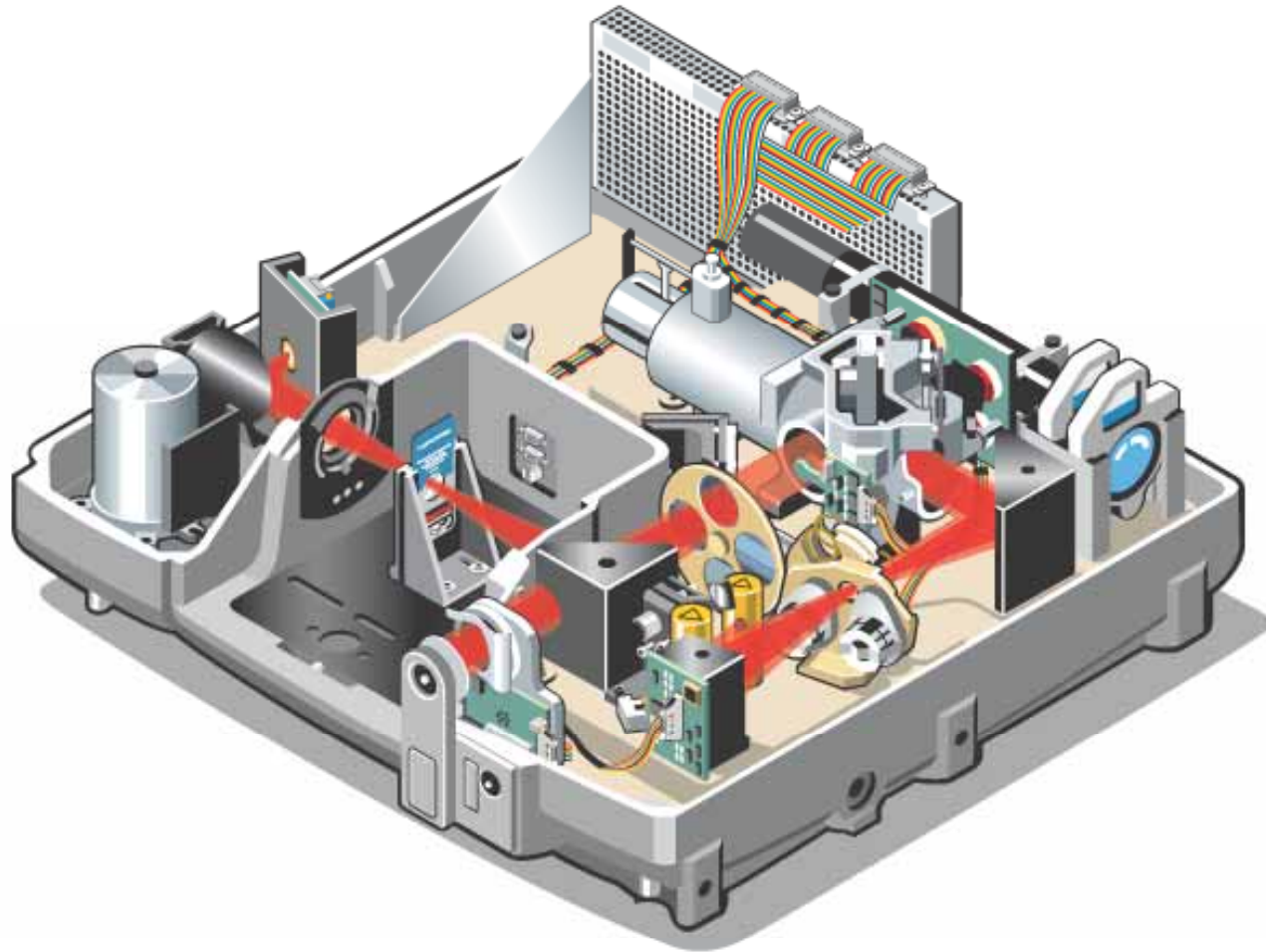


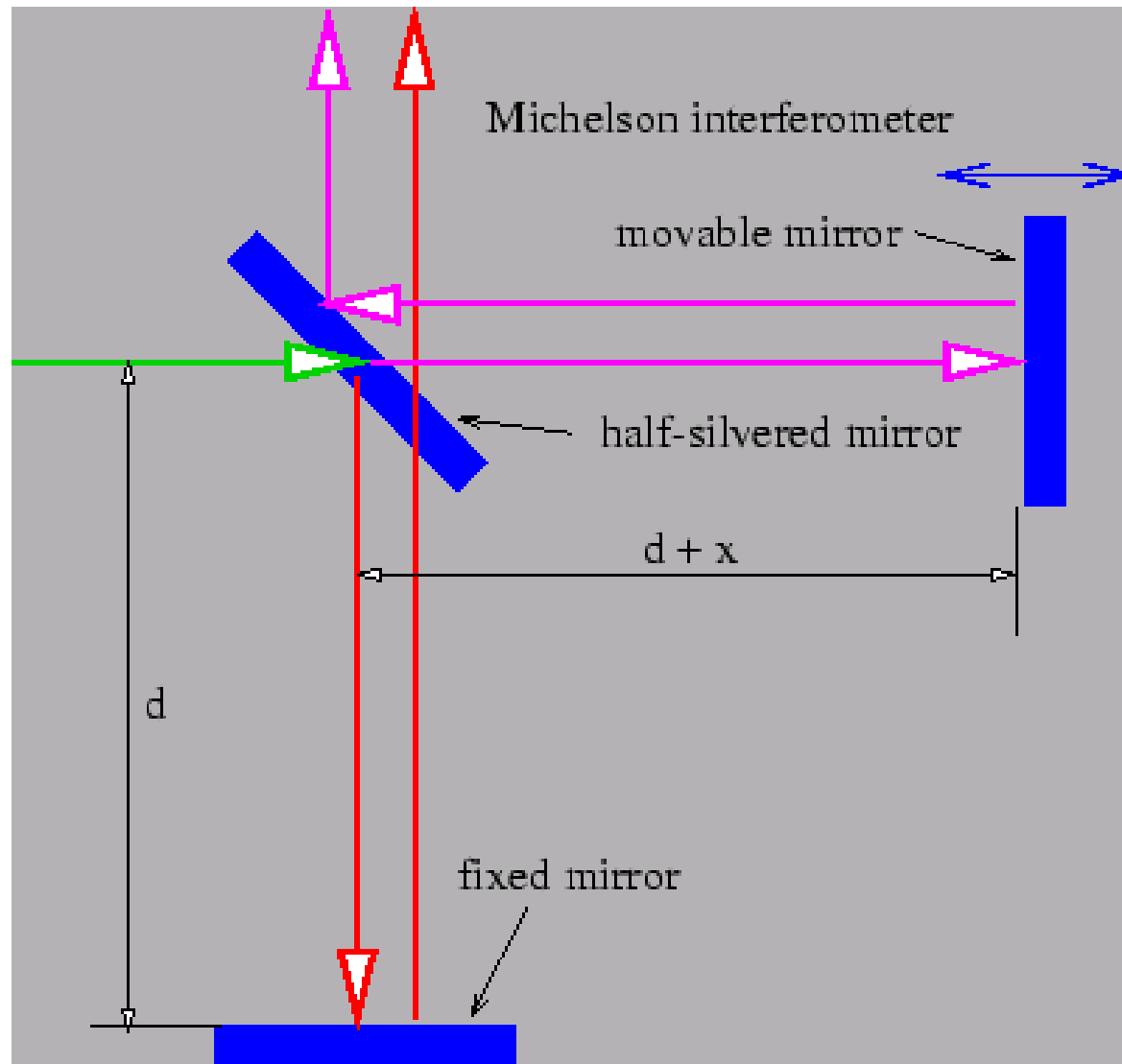
Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



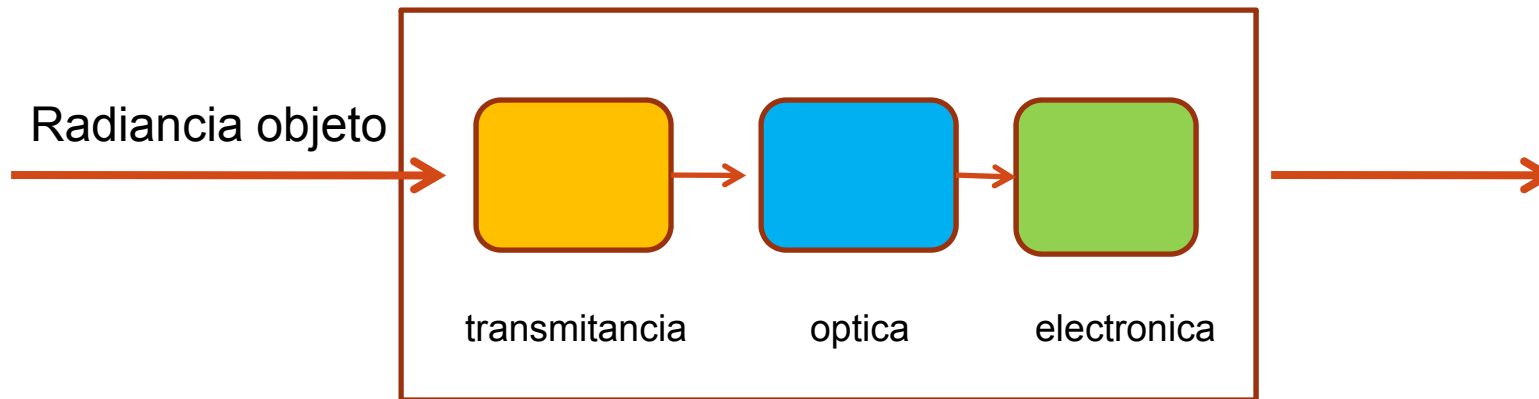
## Procedimiento experimental: etapa 2





# Esquema modelo matematico

Respuesta espectral espectrómetro FTIR





---

El modelo matemático que describe el espectro de radiancia medido por el espectrómetro FTIR que recibe radiación de un objeto a una temperatura T, esta dado por la ecuación :

$$(1) \quad S(\nu) = R(\nu)[L(\nu) + G(\nu)]$$

$S(\nu)$  = espectro obtenido por el FTIR

$R(\nu)$  = respuesta espectral del FTIR

$G(\nu)$  = radiancia espectral del FTIR ( $T_i$ )

$L(\nu)$  = radiancia espectral emitida por el objeto

---

Para obtener la radiancia espectral emitida por el objeto, las funciones  $R$  y  $G$  del instrumento deben ser conocidas. De la ecuación (1) despejamos  $L$  y tenemos la ecuación :

$$(2) \quad L(\nu) = \frac{S(\nu)}{R(\nu)} - G(\nu)$$

Debido a que el espectrómetro FTIR, proporciona un espectro discreto, hay valores de  $L$  para cierto números de onda  $\nu_i$ , el procedimiento de calibración debe determinar dos parámetros para cada número de onda  $\nu_i$  la respuesta espectral  $R(\nu_i)$  y la radiancia espectral del espectrómetro  $G(\nu_i)$ . Entonces si las temperatura pueden ser medidas, y el espectrómetro esta libre de ruido, uno debería tomar los espectros  $S_1$  y  $S_2$  de dos cavidades de cuerpos negros (ccn) a diferentes temperaturas y solucionar entonces para los parámetros no conocidos:

## PRINCIPIOS FISICOS

---

$$S_1(\gamma) = R(\nu)[L_{cn}(\gamma, T_1) + G(\gamma)]$$

$$S_2(\gamma) = R(\nu)[L_{cn}(\gamma, T_2) + G(\gamma)]$$

Entonces:

$$R(\gamma) = \frac{S_1(\gamma) - S_2(\gamma)}{L_{cn}(\gamma, T_1) - L_{cn}(\gamma, T_2)}$$

$$G(\gamma) = \frac{S_1(\gamma)}{R(\gamma)} - L_{cn}(\gamma, T_1)$$

---

Las ecuaciones anteriores describen el llamado procedimiento de calibración convencional : Dos espectros  $S_1(\nu)$  y  $S_2(\nu)$  de cavidades de cuerpos negros con diferentes temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  son medidos y las funciones del instrumento son calculadas. Los errores en los valores de las funciones del instrumento resultan de las incertidumbres  $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$  de las temperaturas medidas.

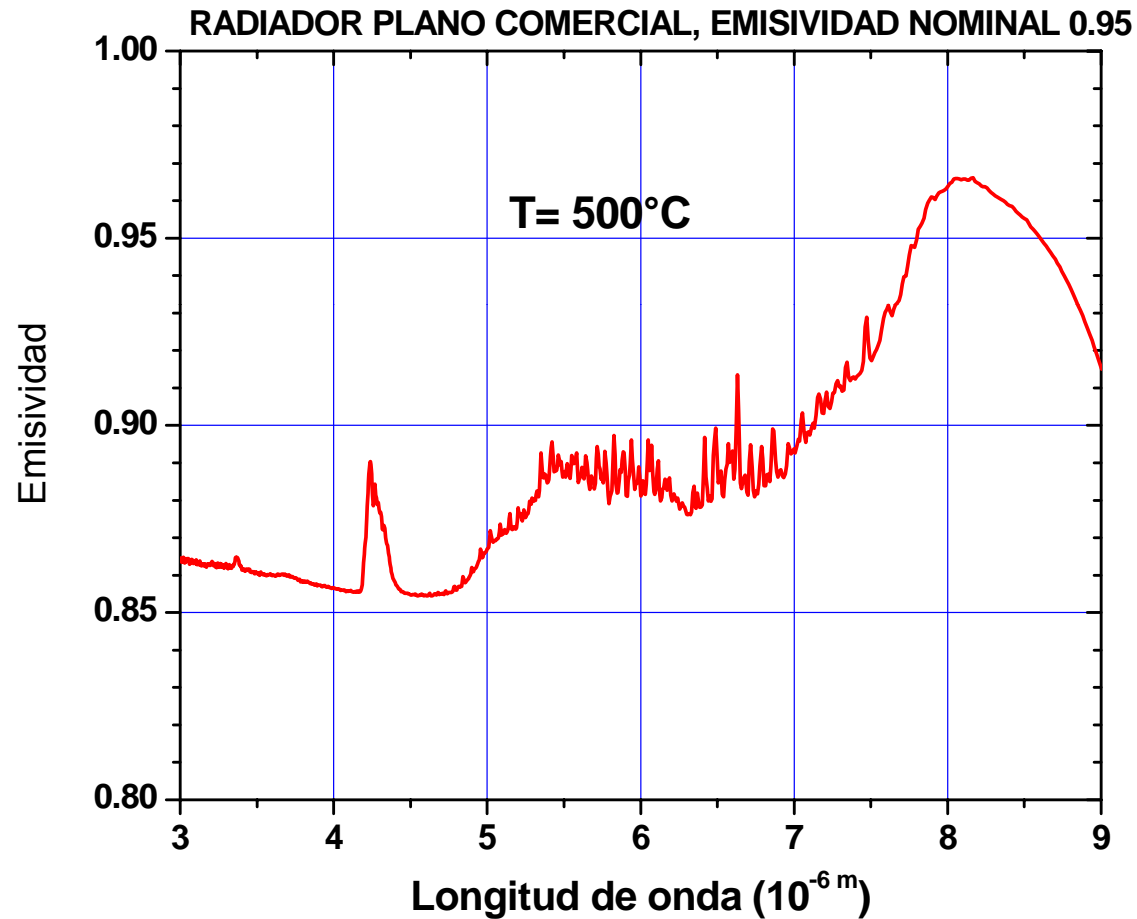


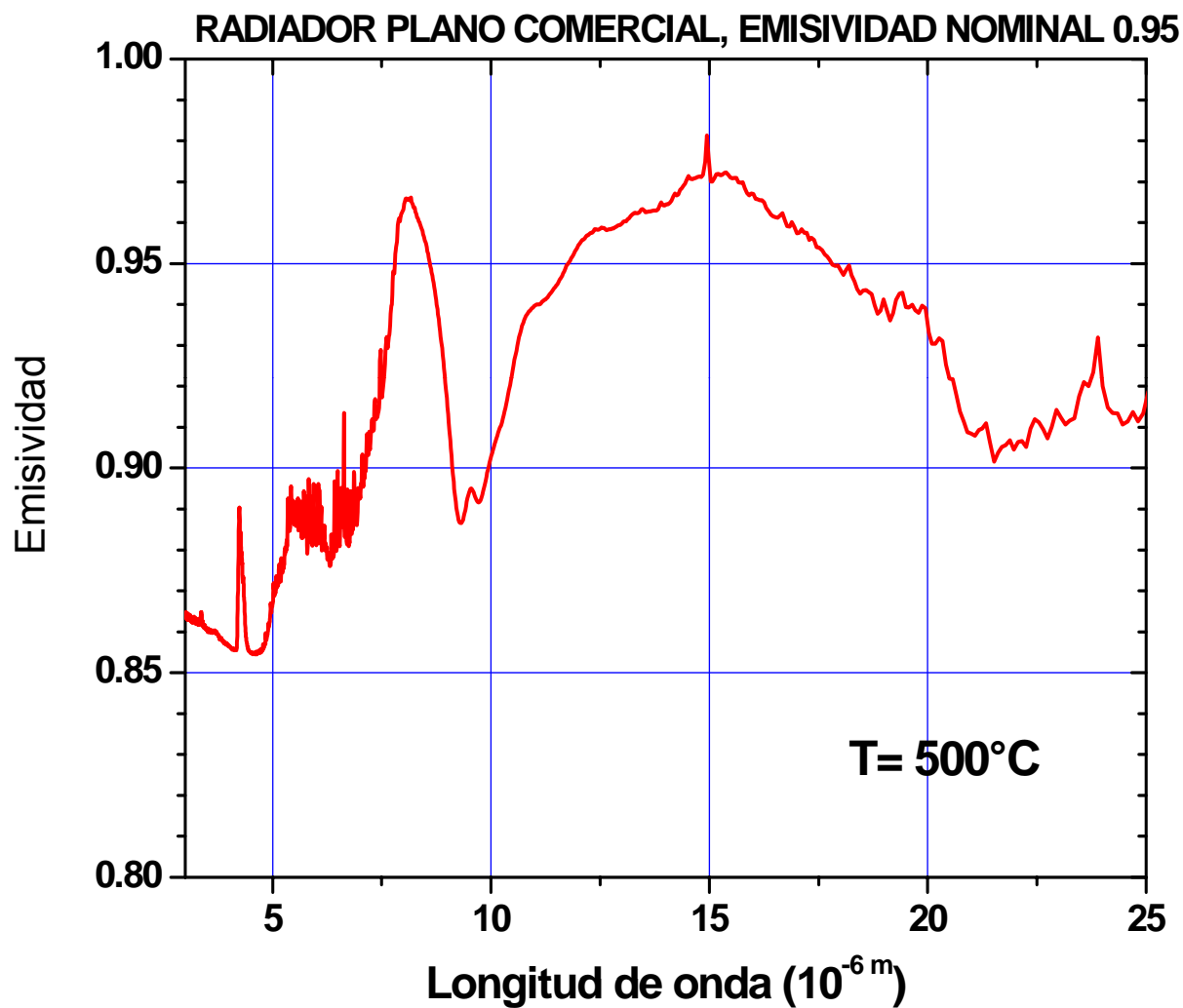
**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

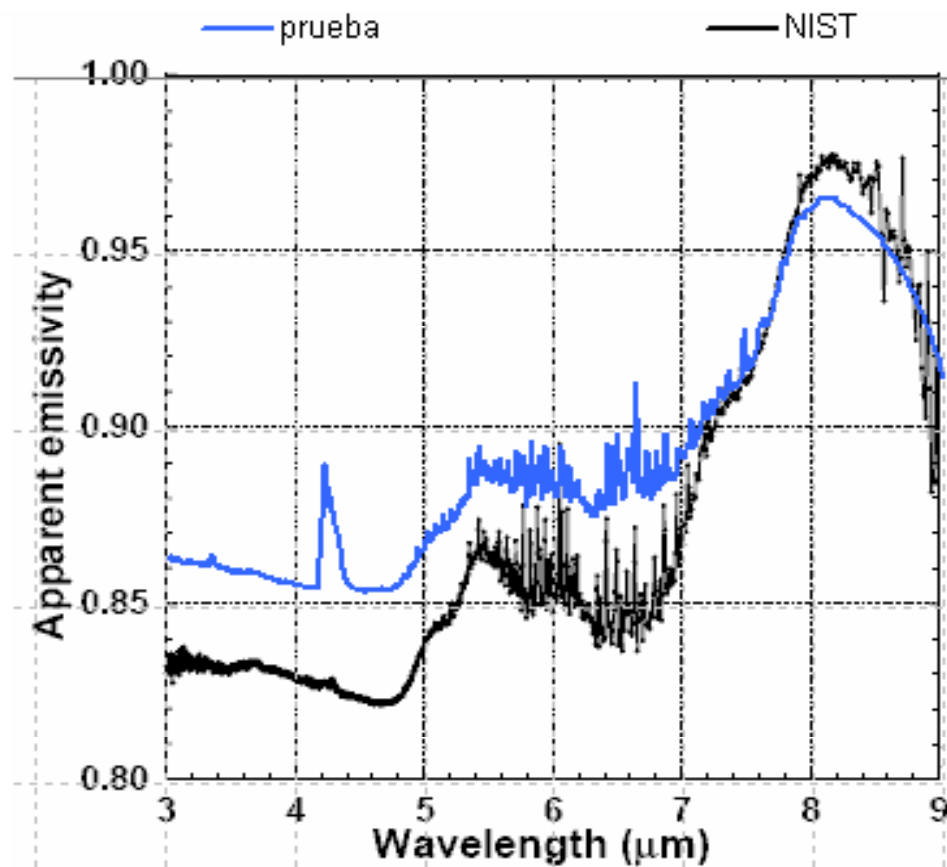
↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# Resultados







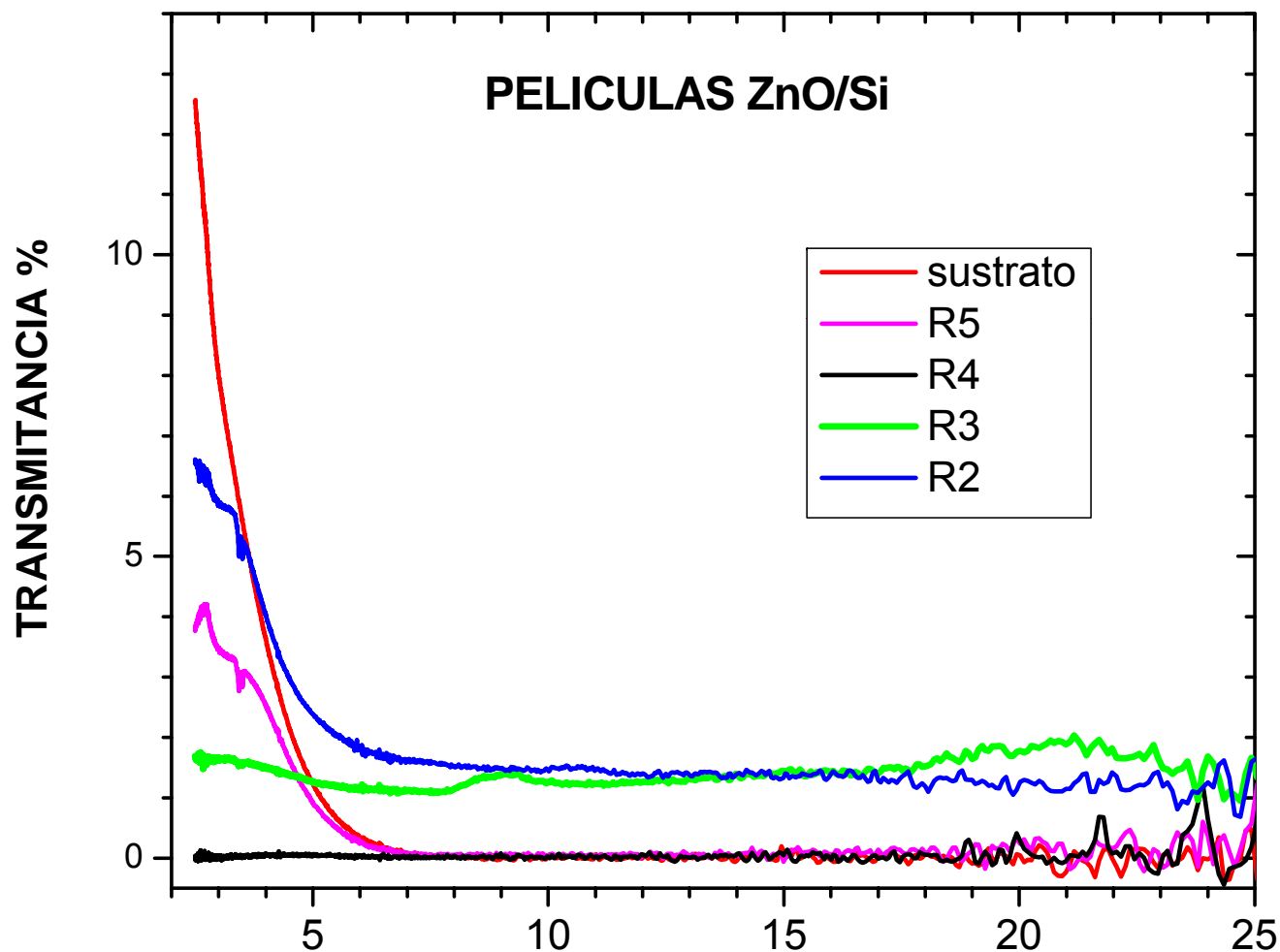
Infrared Spectral Emissivity Characterization at NIST,  
 Hanssen et al.,  
 Thermosense XXVI, 2004.

## Películas ZnO/Si, ZnO/vidrio (Sputtering)





# Recomendaciones



# conclusiones

---

Los resultados obtenidos para la emisividad de aluminio oxidado, acero oxidado, lamina galvanizada son similares a los reportados en la literatura lo cual indica que el sistema de reflectancia modulada es una alternativa viable para la caracterización de emisividad

se ha caracterizado la emisividad de un radiador comercial (plato) y los resultados son similares a los reportados por el NIST

Las caracterización de las películas de ZnO, indican que podría ser un candidato para material de referencia de emisividad



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia

