

# Problemas a nivel industrial en la medición de temperatura usando pirómetros

**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. PRINCIPIOS FISICOS

3. PROBLEMAS : TAMAÑO DE FUENTE, DISTANCIA, EMISIVIDAD

4. DISCUSION

4. RECOMENDACIONES



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# INTRODUCCION

---

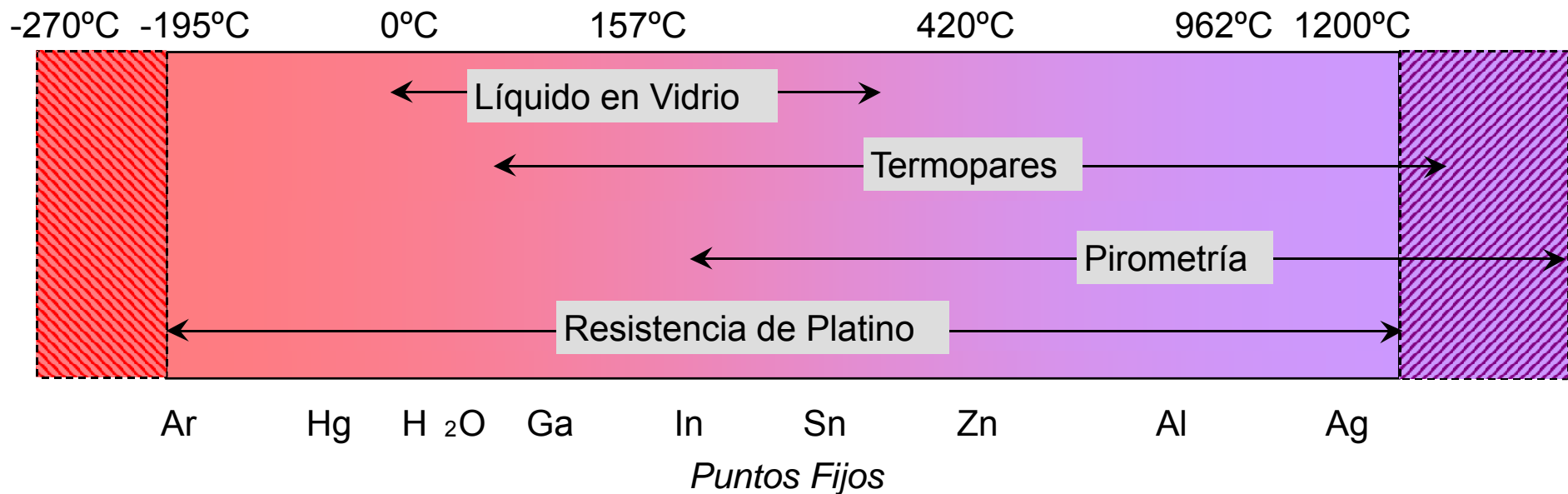
La temperatura es una de las magnitudes de medición de mayor impacto en la calidad de una variedad amplia de productos.

La confiabilidad metrológica de los pirómetros tiene una importancia muy alta en procesos productivos industriales

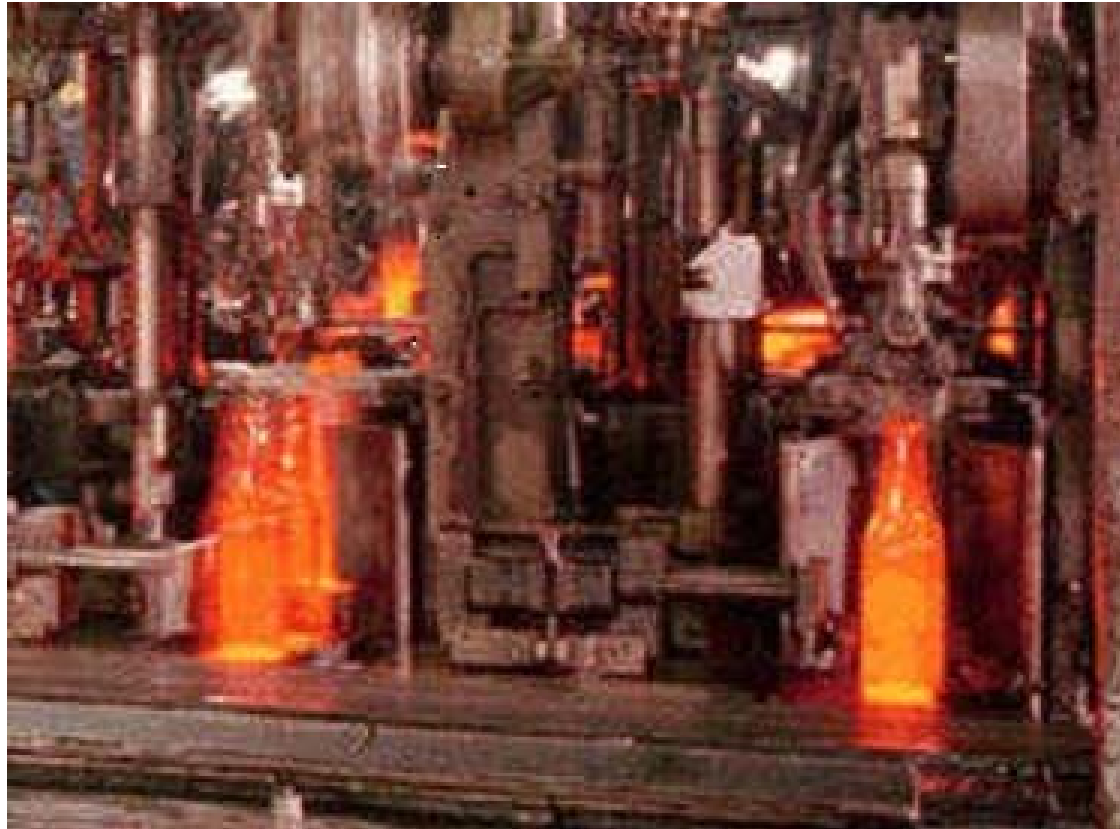
Un gran sector industrial nacional realiza mediciones de temperatura con termómetros de radiación. Intervalo amplio: desde temperaturas de refrigeración, algunos grados por debajo de 0 °C, hasta temperaturas cercanas a 2000°C.

# Termometría

<i>alimentos congelados</i>	<i>vidrio</i>	<i>acero</i>
<i>almacenaje criogénico</i>	<i>alimentos procesados</i>	<i>semiconductores</i>
<i>crio-ingeniería</i>	<i>ambiental</i>	<i>metal-mecánica</i>
<i>biomédica</i>	<i>petroquímica</i>	<i>refractarios</i>
<i>superconductividad</i>	<i>papel</i>	<i>plásticos</i>
		<i>combustión</i>
		<i>cerámicos</i>



# industria de vidrio



# 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).

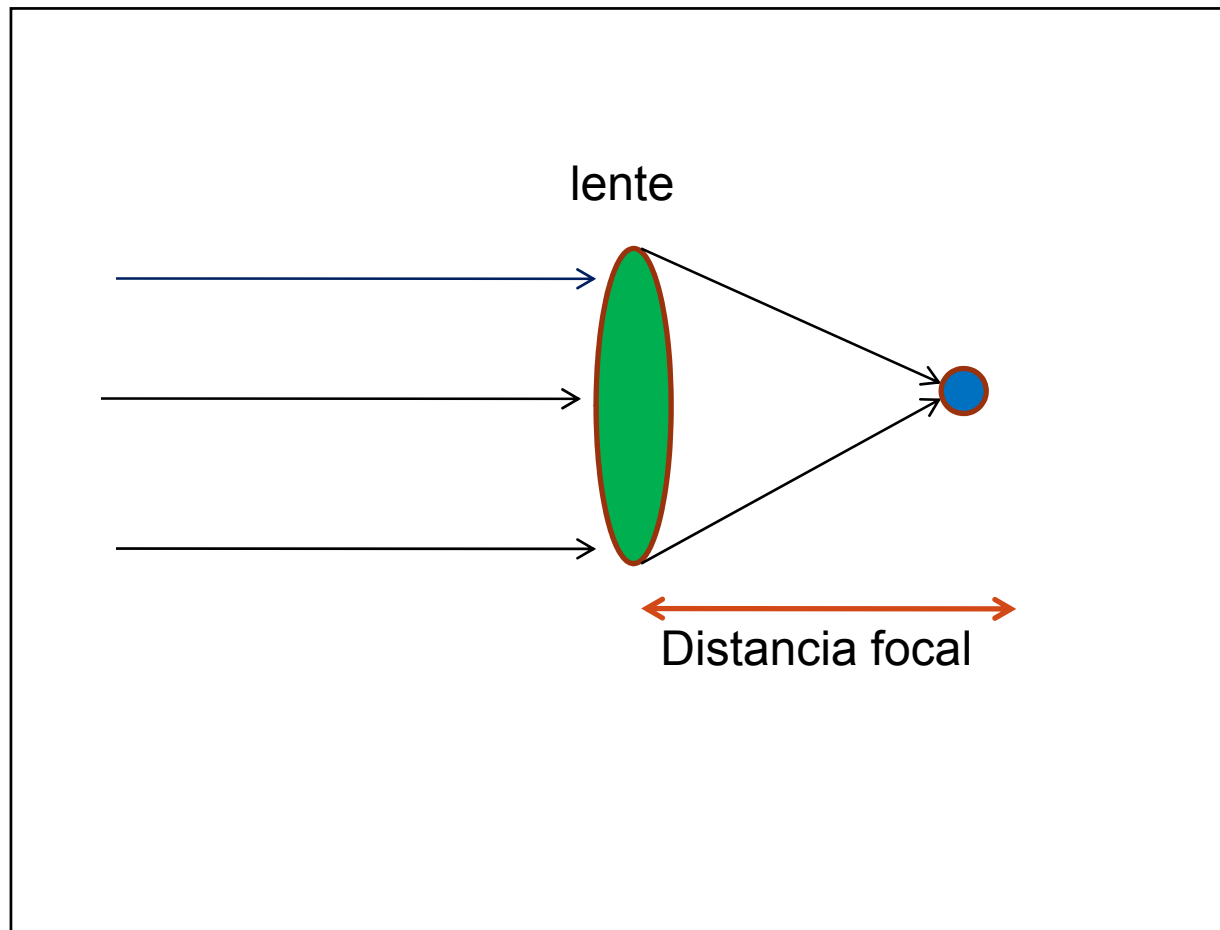
## PRINCIPIOS FISICOS

Un objeto a una temperatura  $T > 0$  emite radiación electromagnética  
Cuerpo negro, superficie ideal, absorbe toda radiación incidente

Ley de Planck:

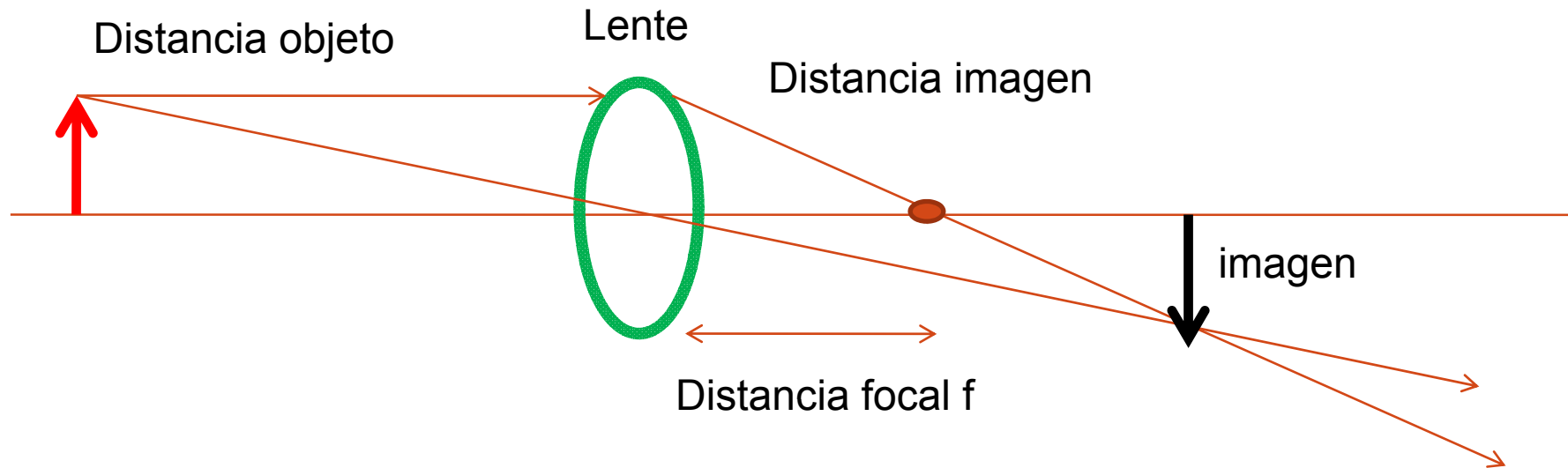
$$L_{CN}(\lambda, T) = \frac{c_1 L}{\lambda^5 \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad [W \cdot m^{-3} \cdot sr^{-1}]$$

# PRINCIPIOS FISICOS





# PRINCIPIOS FISICOS

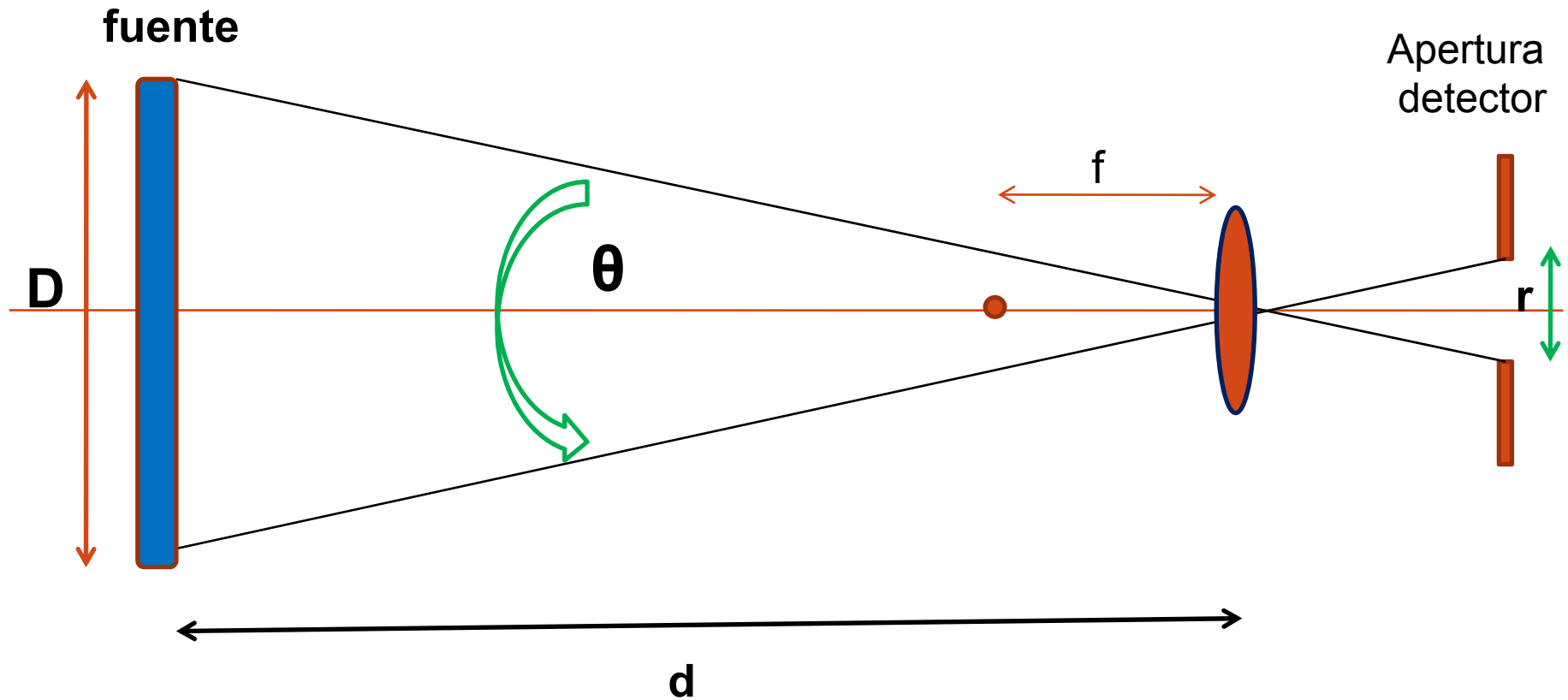


Ecuación lentes delgadas :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i}$$

[..\videos-enme2009\Practica 1a.wmv](#)

## Tamaño de la fuente y campo visual , FOV



# PRINCIPIOS FISICOS

## Emisividad

Definición:

$$\epsilon(\lambda, T) = \frac{L_{sup}(\lambda, T)}{L_{CN}(\lambda, T)}$$

# 3. Problemas

## Efecto tamaño de fuente:

Fuentes de igual temperatura, pero diferentes tamaños se ven a temperaturas aparentemente “diferentes”

### Origen :

Interacción de radiación con aperturas, superficies lentes , partículas en el medio :

a) difracción

b) reflexiones y aberraciones sistema óptico

c) dispersion (scattering)

[\videos-enme2009\ practica 11 nov 0001.wmv](#)

[.\videos-enme2009\ practica 11 nov 0002.wmv](#)



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# Efecto de distancia (ED)

---

**Cambio en la señal de salida del termómetro de radiación debido al cambio en la distancia entre el termómetro y la fuente**

Origen:

Absorción atmosférica

Alineamiento, focalización sistema óptico



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# Emisividad

---

La radiación emitida por una superficie depende de su emisividad y de su temperatura

[..\videos-enme2009\practica \(temperatura corporal\) 11 nov.wmv](#)

# DISCUSION

## Corrección por emisividad para una longitud de onda $\lambda$

Por conservación de energía:

$$L_{cn}(\lambda, T_{cn}) = \epsilon_{\lambda} L(\lambda, T)$$

usando ley de Wien :

$$L_{cn}(\lambda, T_{cn}) = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_{cn}}}$$

Tenemos que:

$$T = \left( \frac{1}{T_{cn}} + \frac{\lambda}{c_2} \ln \epsilon_{\lambda} \right)^{-1}$$

Reemplazando datos:  $\lambda = 10 \mu\text{m}$ ,  $\epsilon = 0.95$ ,

$$T = 37.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# Efectos de variaciones de emisividad

## Pirómetro monocromático lineal

Usando ley de Planck :

$$L_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

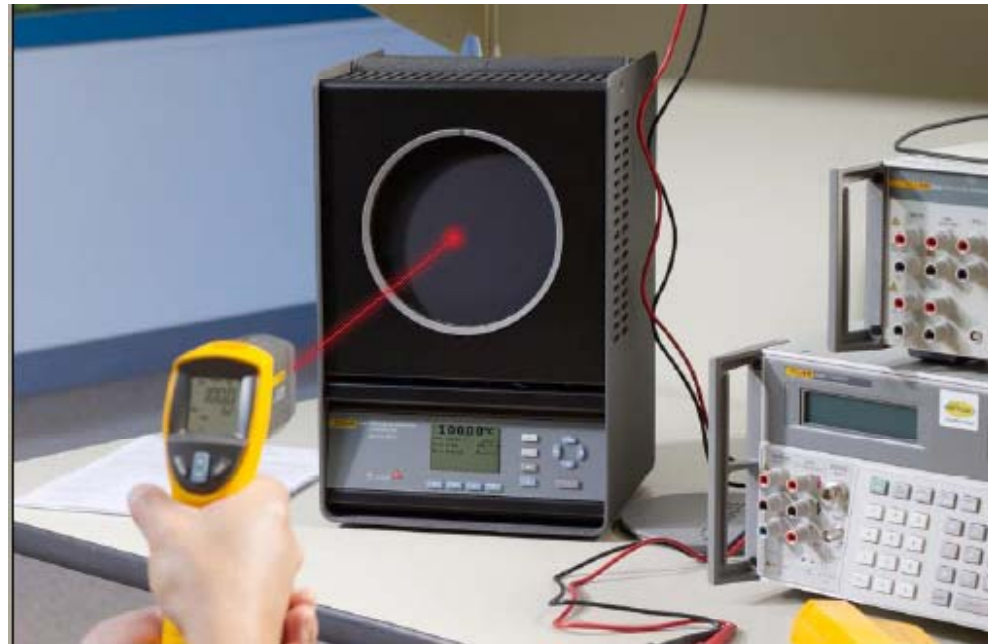
Derivando :

$$\Delta T = \frac{\lambda}{c_2} T^2 \left( 1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \right) \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta T = \frac{\lambda}{c_2} T^2 \left( 1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \right) \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}$$

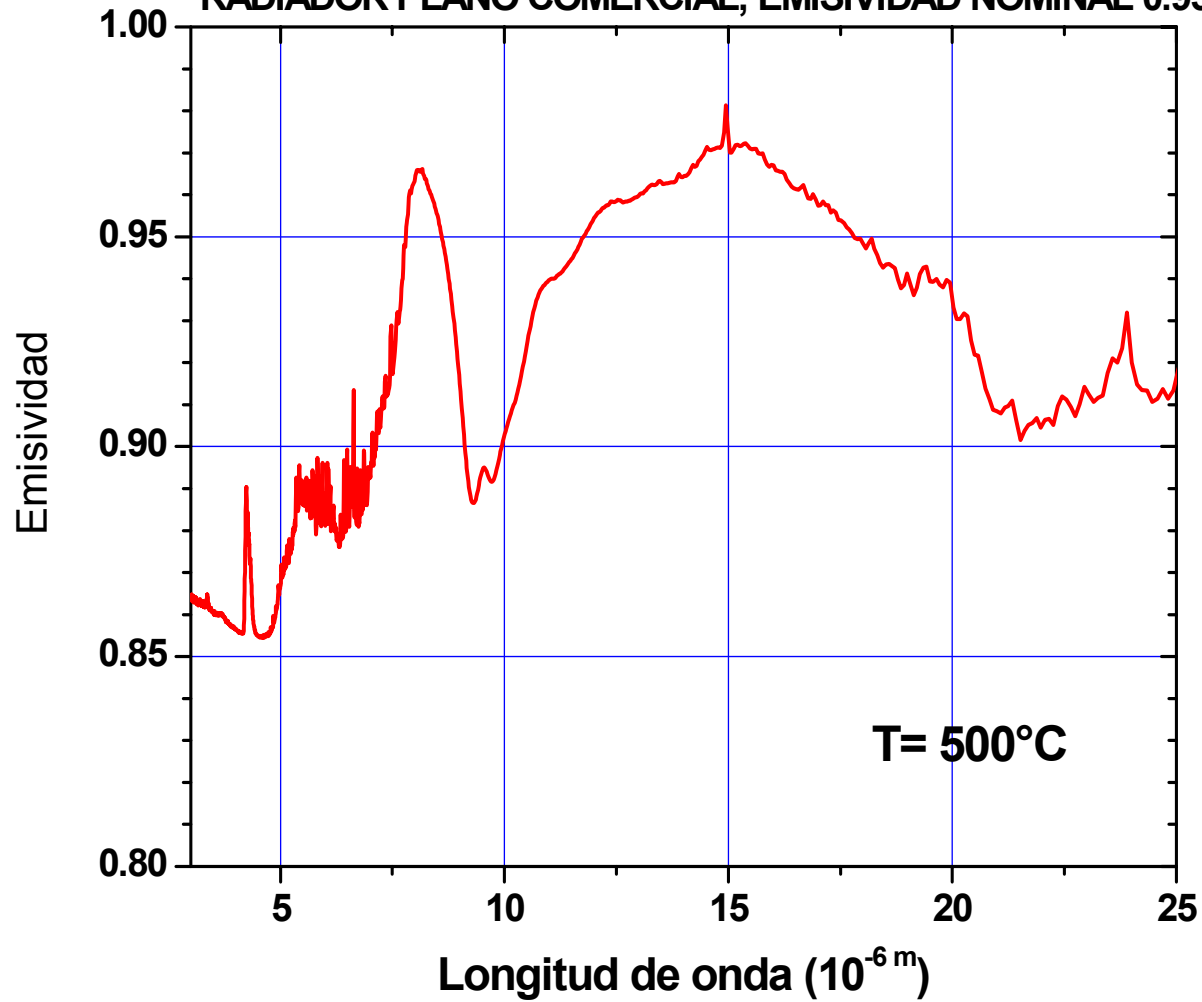


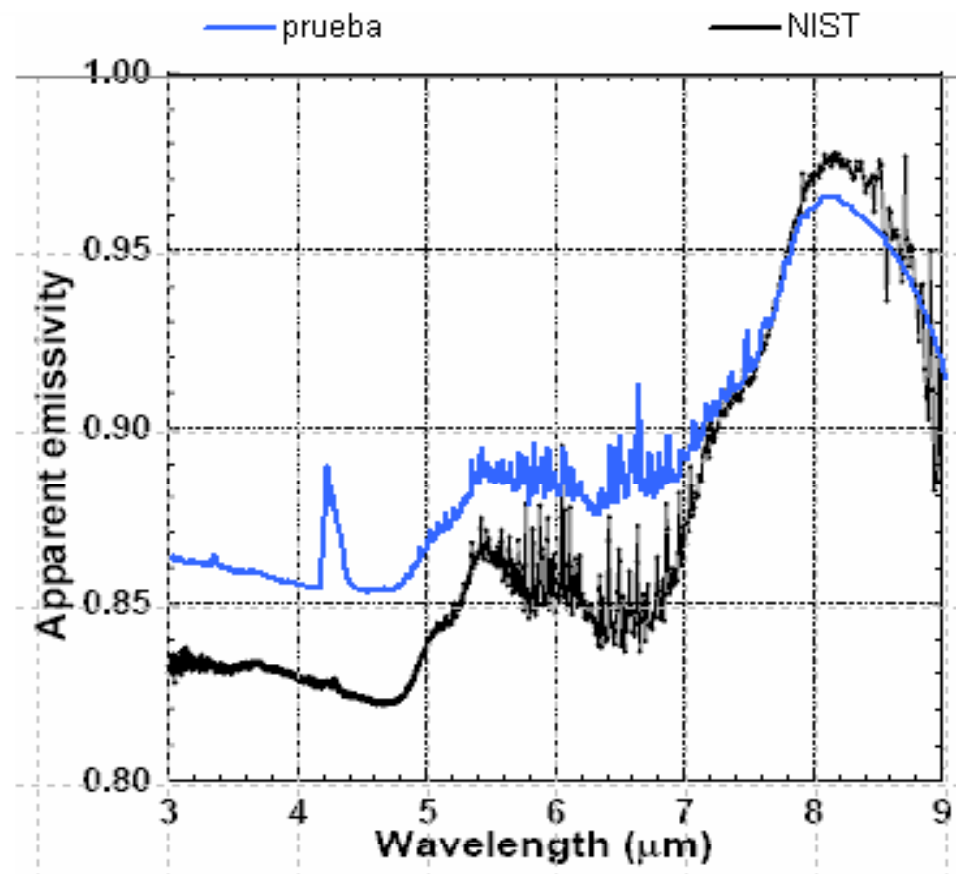
$d\lambda$



$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{cn}(\lambda, T_{cn}) d\lambda = \epsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda,T}(\lambda, T) d\lambda + (1 - \alpha) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda,T_a}(\lambda, T_a)$$

**RADIADOR PLANO COMERCIAL, EMISIVIDAD NOMINAL 0.95**

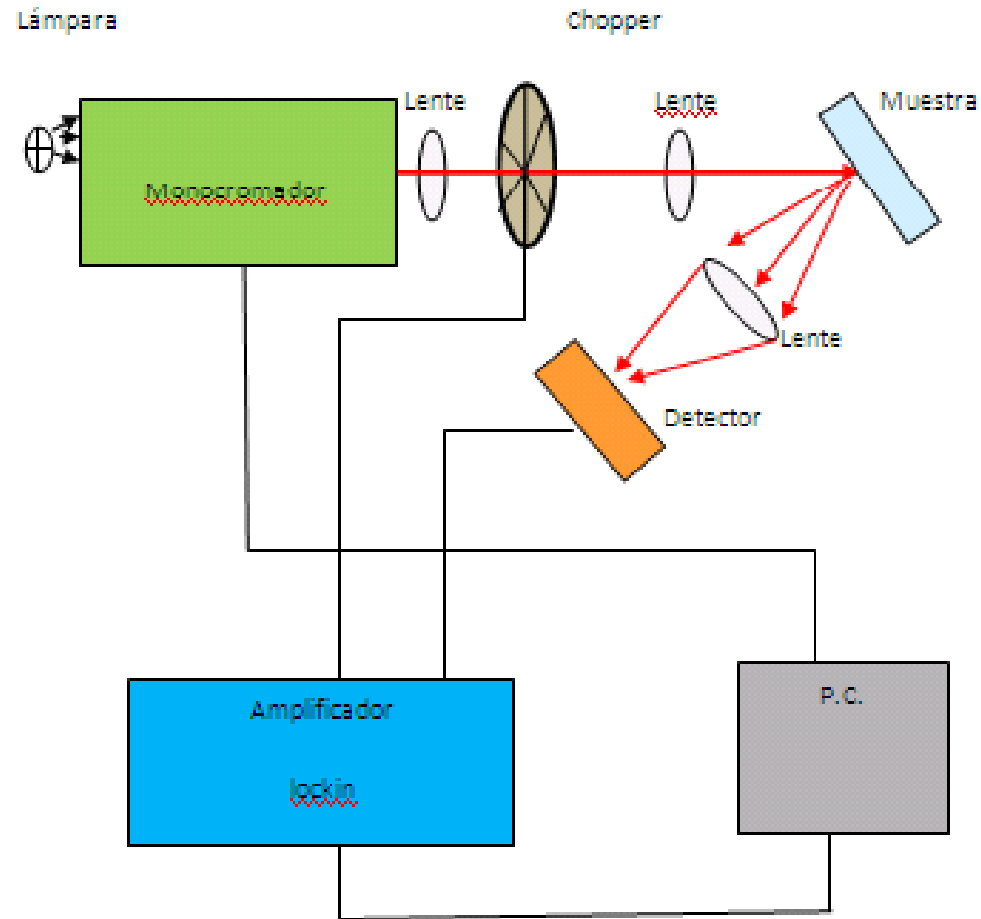




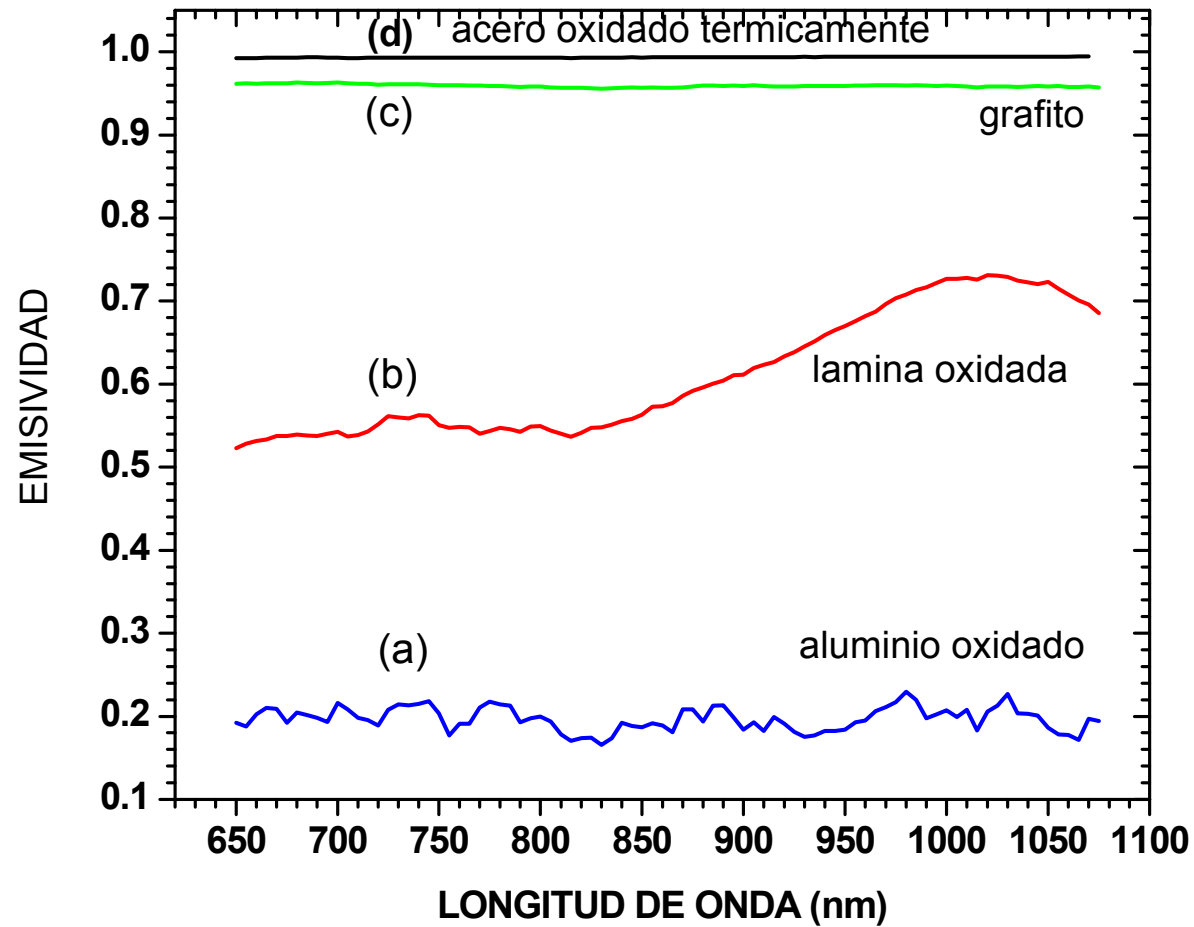
Infrared Spectral Emissivity Characterization at NIST,  
Hanssen et al.,

Thermosense XXVI, 2004.

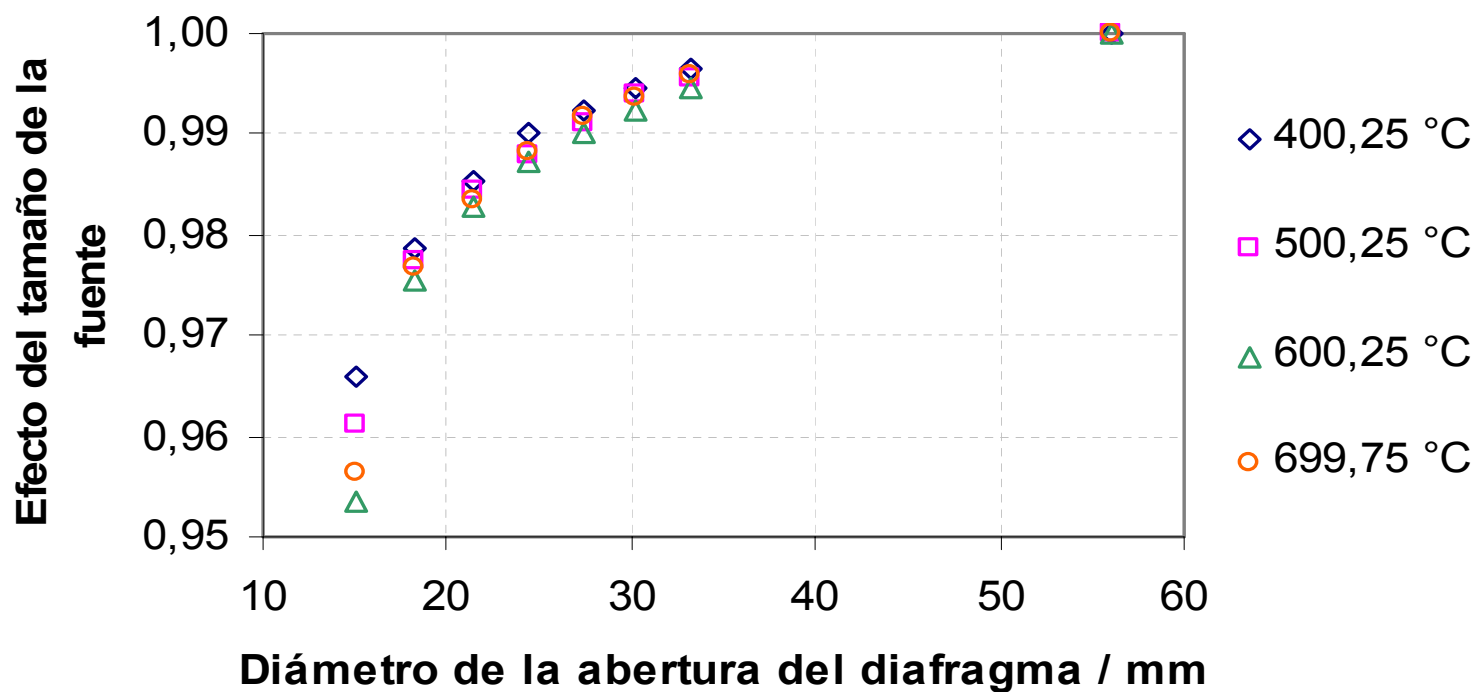
# REFLECTANCIA MODULADA



T = 23 °C

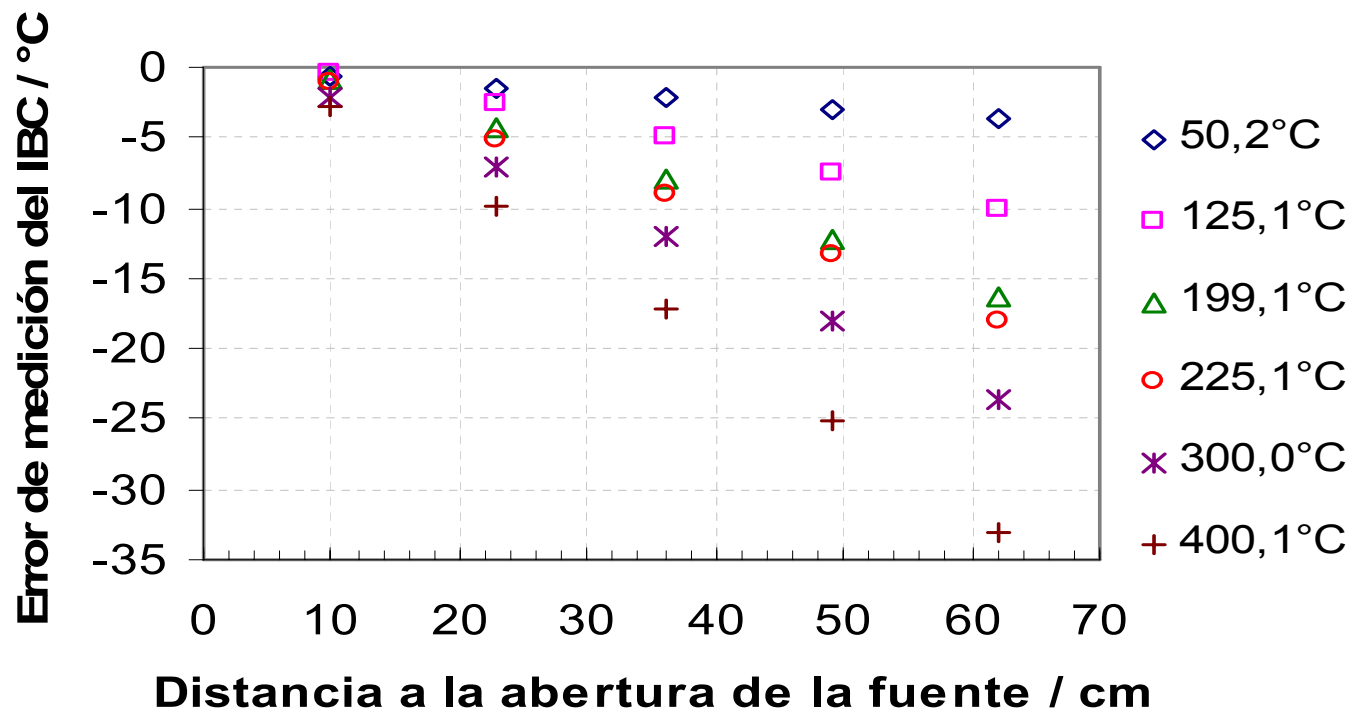


# discusion

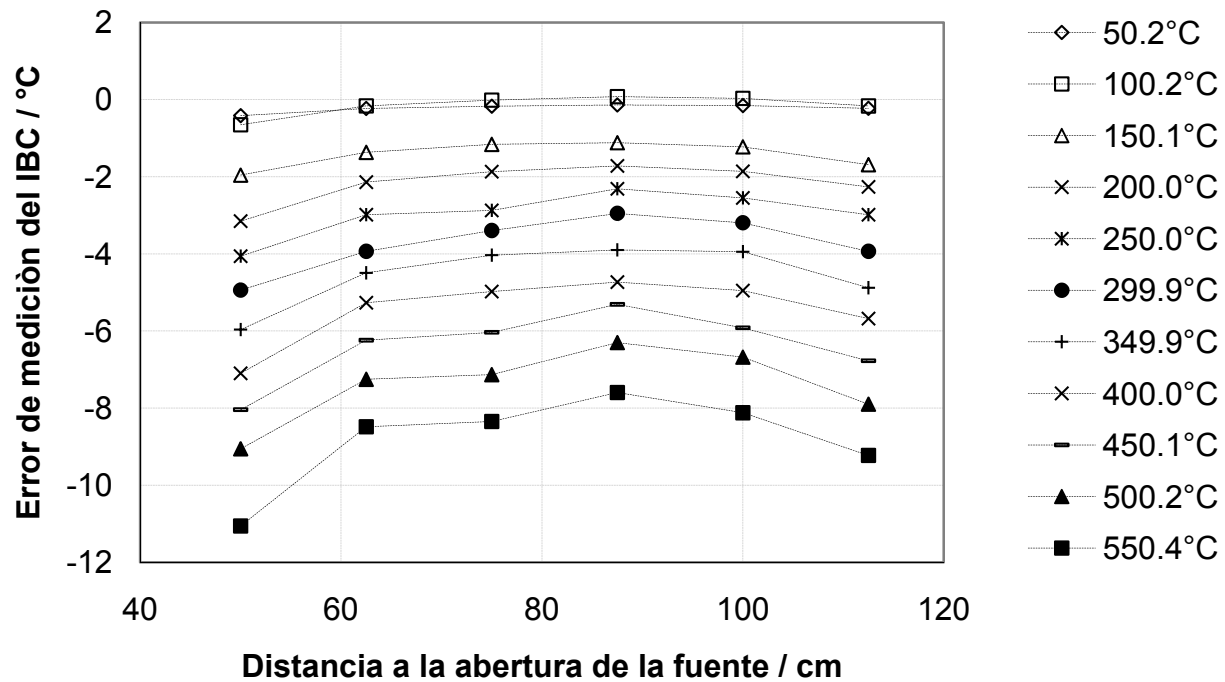


(Ing. Hugo Rodríguez)

# discusion



(H. Rodríguez, E. Méndez, Tempmeko-2007)



(H. Rodríguez, E. Méndez, Tempmeko-2007)



# Recomendaciones

---

La medición de temperatura con pirómetros es afectada por la emisividad de la superficie del objeto. Es necesario investigar , realizar una estimación adecuada, el problema es critico en metales

El cuando usar termómetros de radiación depende de la “fisica” de los procesos térmicos involucrados

La elección de pirómetros de banda angosta o ancha, depende de las propiedades de los materiales y procesos en línea, ejemplos: acero, aluminio, vidrio, plásticos



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# Recomendaciones

---

**Verificar siempre que el área de la superficie a medir sea dos veces el área del spot**



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

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia

