

# Calibración de calibradores de superficie emisora plana para termómetros de radiación (IR)



# Contenido

---

- I. Introducción
- II. Descripción del problema
- III. Calibración por el método de comparación
- IV. Fundamentos
- V. Emisividad/definición
- VI. Medición de la emisividad
- VII. Gradiente de temperatura
- VIII. Realización
- IX. Procedimiento
- X. Mensurando
- XI. Certificado de calibración
- XII. Uso de los platos como referencias
- XIII. Secuencia
- XIV. Disponibilidad del servicio

# I. Introducción

---

Cada día aumenta el uso de termómetros de radiación IR en industrias y proveedores de servicios.

Estos termómetros se pueden calibrar con calibradores de superficie emisora plana.

Los calibradores a su vez requieren ser calibrados.

Tenemos el compromiso de satisfacer la demanda actual y futura de calibración para los calibradores mencionados.



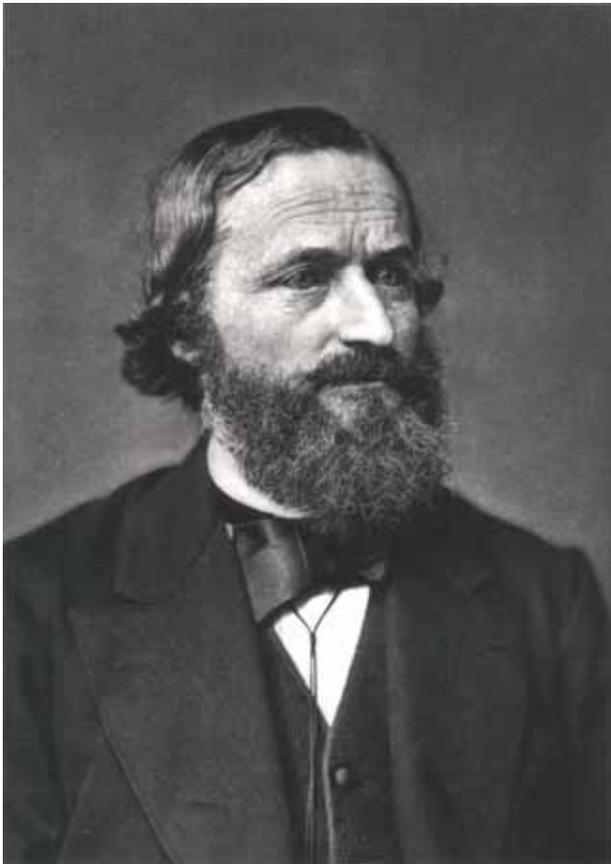
Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# I. Introducción

---



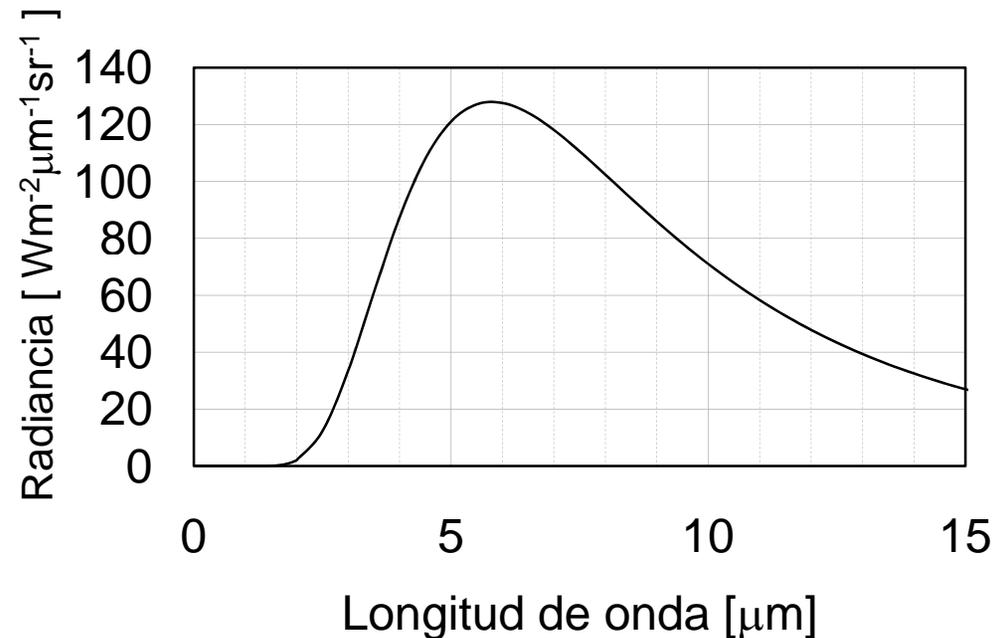
El término “cuerpo negro” fue introducido por Gustav Kirchhoff en 1860.

Un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la radiación electromagnética que recibe. Ninguna radiación electromagnética lo atraviesa y ninguna se refleja.

# I. Introducción

Un cuerpo negro emite un espectro de radiación que depende de la temperatura. La radiación térmica del cuerpo negro se denomina radiación de cuerpo negro.

$$L_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{c_{1L}}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$



# I. Introducción

---

En general, los objetos no se comportan como cuerpos negros, y la radiación que emiten a una longitud de onda determinada es sólo una fracción de lo que emitiría un cuerpo negro a esa misma temperatura.

Esta fracción es la emisividad espectral.

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{L_{\lambda}(\lambda, T)}{L_{\lambda, b}(\lambda, T)}$$

# I. Introducción

---

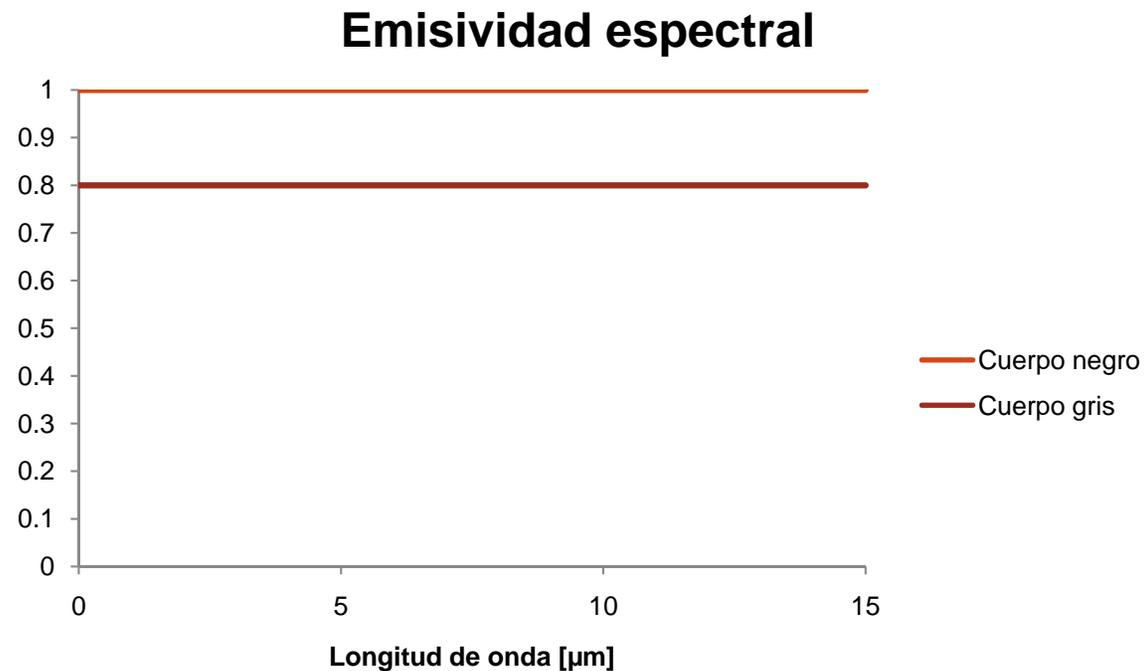
Un cuerpo gris se define como el que tiene una emisividad espectral constante en todo el intervalo de longitudes de onda para una temperatura dada.

$$\varepsilon(\lambda, T) = \text{constante} < 1$$

# I. Introducción

Un cuerpo negro tiene una emisividad espectral constante igual a uno.

Un cuerpo gris tiene una emisividad espectral constante menor que uno.



## II. Descripción del problema

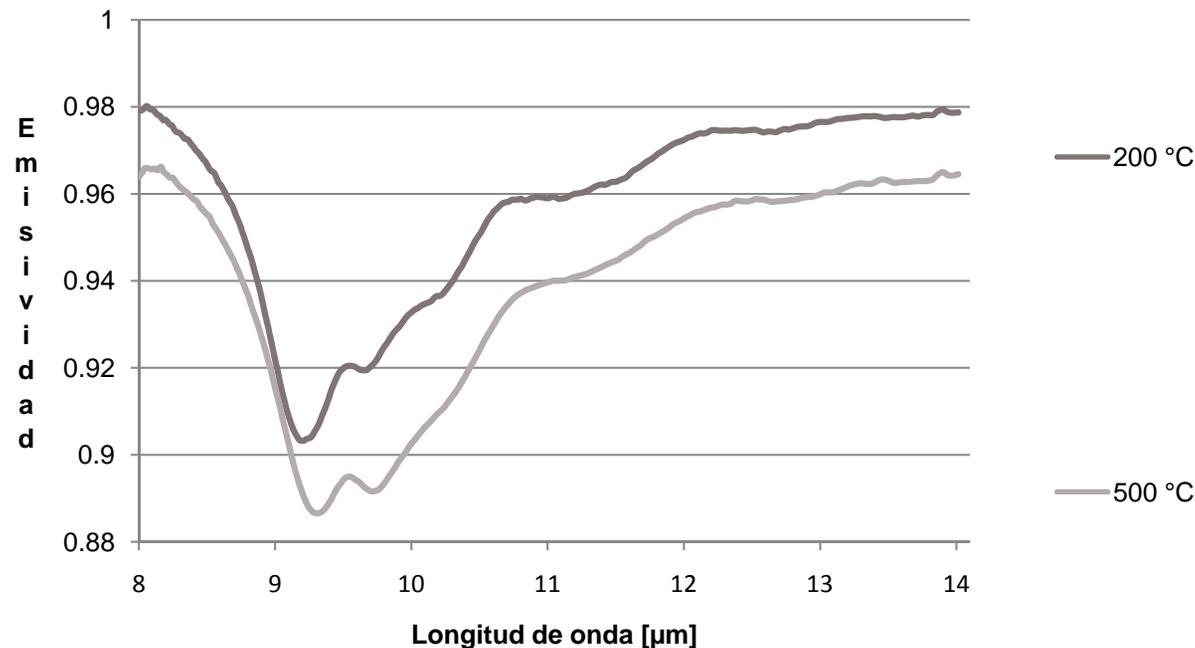
---

Calibrar los calibradores de superficie emisora plana tomando en cuenta que

1. En general para mantener trazabilidad, los termómetros de radiación se calibran contra cuerpos negros que tienen emisividad igual a uno, y no contra cuerpos grises con emisividad menor que uno. Para calibrar a un calibrador que tiene una emisividad igual a 0.95 con un termómetro de radiación, conviene que éste esté calibrado a ese valor de emisividad.

## II. Descripción del problema

- Las superficies emisoras de los calibradores no presentan un valor de emisividad espectral constante en el intervalo de longitudes de onda de trabajo.



## II. Descripción del problema

---

3. Las superficies emisoras no tienen la misma temperatura en todos sus puntos.

¿Qué área de trabajo uso?

¿A qué distancia coloco el termómetro de radiación para que su campo de visión esté dentro del área de trabajo?

# III. Calibración por el método de comparación

---

- Se efectuará comparando la lectura de un termómetro de referencia (TR) que se utilizará como patrón contra la lectura del Calibrador (Instrumento bajo calibración, IBC).
- La calibración del IBC tendrá trazabilidad al patrón nacional de temperatura a través del TR que a su vez tiene trazabilidad vía un termómetro de contacto patrón que está justamente en el cuerpo negro que se utilizó para calibrarlo.

# IV. Fundamentos

1. Desarrollar un método, basado sobre la conservación de la energía de radiación, que nos permita utilizar un cuerpo negro con un termómetro de contacto patrón.

Por la conservación de la energía de radiancia, establecemos la siguiente ecuación que relaciona la temperatura de un cuerpo negro con la temperatura de un cuerpo cualquiera con emisividad espectral y la temperatura del medio ambiente que lo rodea.

$$\int L_{\lambda,b}(\lambda, T_b) d\lambda = \int \varepsilon_{\lambda} L_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda + \int (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda,b}(\lambda, T_{am}) d\lambda$$

# IV. Fundamentos

---

Si reacomodamos los términos, podemos obtener la temperatura  $T$  que tendría una superficie con una emisividad dada en función de la temperatura del cuerpo negro y la temperatura ambiente de los alrededores.

$$\int \varepsilon_{\lambda} L_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda = \int L_{\lambda,b}(\lambda, T_b) d\lambda - \int (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda,b}(\lambda, T_{am}) d\lambda$$

# IV. Fundamentos

Esto nos permite hacer una tabla de temperatura que nos relaciona la temperatura de un cuerpo negro con la temperatura de un cuerpo gris con una emisividad dada (por ejemplo, 0.95):

$t_b$	$t_{0.95}$
50.00	51.30
100.00	103.14
150.00	154.82
200.00	206.46

# IV. Fundamentos

Con esto podemos calibrar nuestro termómetro de radiación que usaremos como referencia a una emisividad de 0.95 utilizando un cuerpo negro.

$t_b$	$t_{0.95}$	$t_{TR}$	$t_{TR} - t_{0.95}$
50	51.30	51	-0.30
100	103.14	103	-0.14
150	154.82	155	0.18
200	206.46	207	0.54

## V. Emisividad/definición

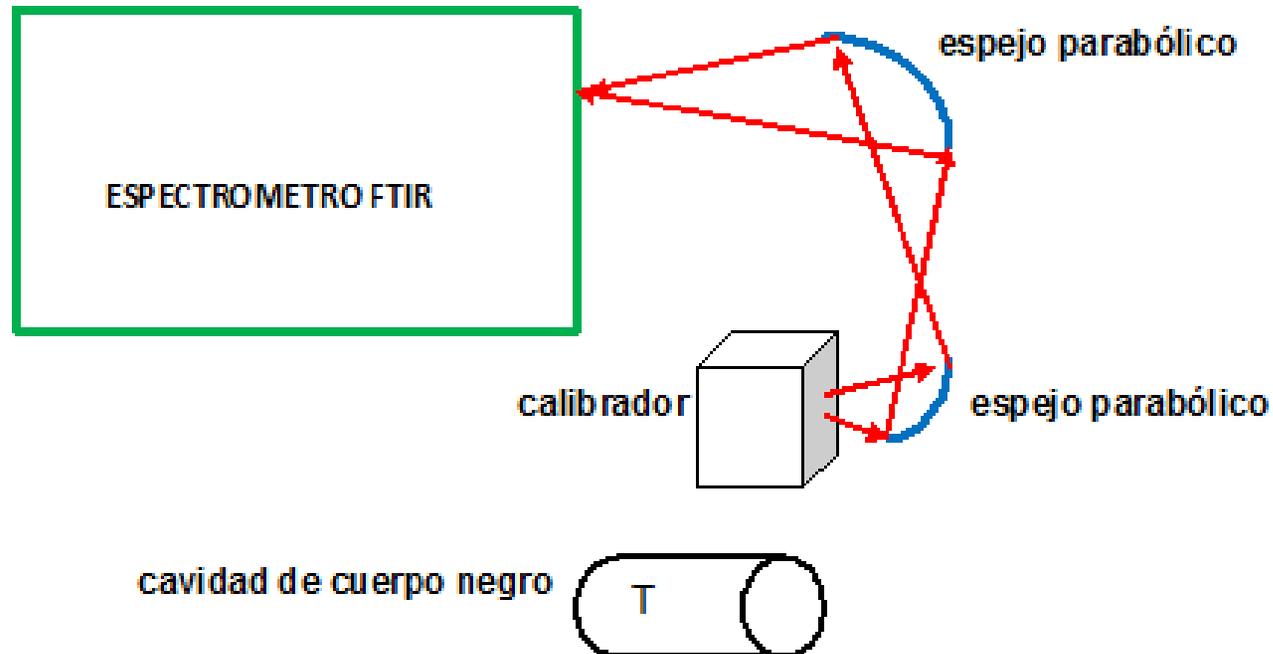
---

2. Desarrollar un sistema de medición que nos permita determinar la emisividad espectral de la superficie emisora a través de la medición directa de la radiancia espectral.

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{L_{\lambda}(\lambda, T)}{L_{\lambda, b}(\lambda, T)}$$

# VI. Medición de emisividad

La figura de abajo muestra un esquema del arreglo para medir la radiancia espectral y de ahí obtener la emisividad espectral del calibrador.



# VII. Gradientes de temperatura

---

3. Desarrollar un método de medición que nos permita “mapear” la superficie emisora para conocer su perfil de temperatura en función de la posición y establecer un área de trabajo.

Utilizaremos un termómetro de radiación con un campo de medición de la menor área posible que nos permita tomar lecturas en diferentes regiones de la superficie emisora.

# VIII. Realización

Como TR utilizaremos un termómetro de radiación con las siguientes características:

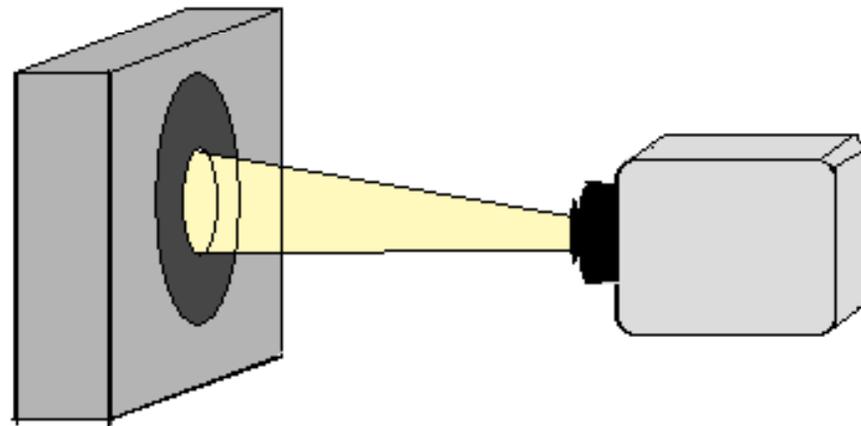
Modelo	Cyclops 300AF
Intervalo de medición	- 50 °C a 1000 °C
Sistema óptico	1° de área de medición con 8° de campo de visión
Respuesta espectral	8 $\mu\text{m}$ a 13 $\mu\text{m}$
Ajuste de emisividad	0.01 a 1.00 en pasos de 0.01



# IX. Procedimiento

---

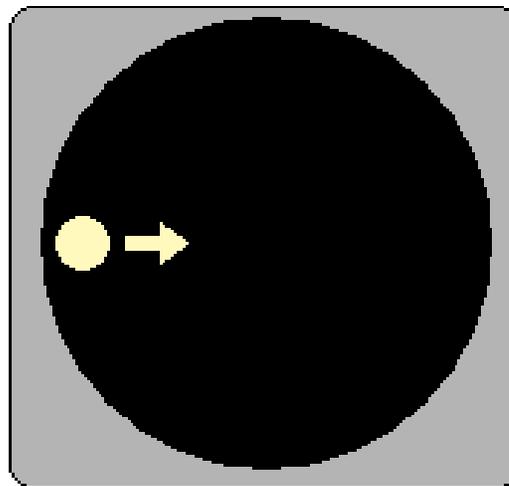
El TR se apuntará enfocando a la superficie del calibrador a una distancia de 50 cm. De acuerdo con las características del TR, esto significa un área de medición circular de 9 mm de diámetro.



# IX. Procedimiento: área útil

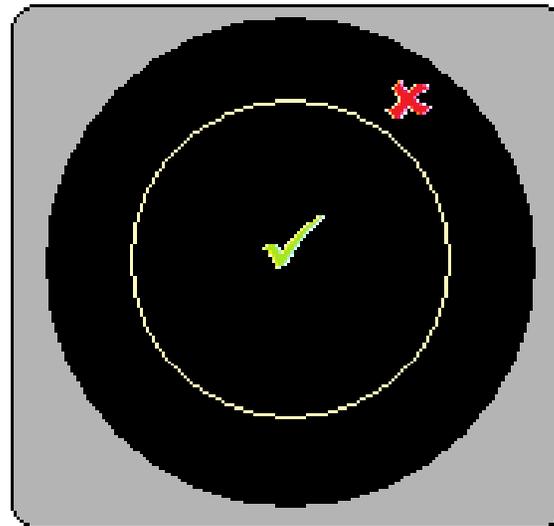
---

Se realizarán mediciones en diferentes puntos de la superficie emisora para conocer su perfil de temperatura como función de la posición.



# IX. Procedimiento: área útil

Con estos datos podremos informar cuál es el área de trabajo para la calibración de termómetros de radiación.



# IX. Procedimiento

Para tomar en cuenta que estamos midiendo con un instrumento que sensa de 8 a 13 micrómetros en vez de que lo haga de de 8 a 14 micrómetros, primero utilizamos la ecuación

$$\int_8^{13} L_{\lambda,b}(\lambda, T_b) d\lambda = \int_8^{13} \varepsilon_{\lambda} L_{\lambda,b}(\lambda, T_{TR}) d\lambda + \int_8^{13} (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda,b}(\lambda, T_{am}) d\lambda$$

para obtener la temperatura del cuerpo negro equivalente. Esto podemos hacerlo gracias a que conocemos la emisividad espectral del calibrador.

# IX. Procedimiento

---

Y después obtenemos la temperatura al intervalo extendido con la ecuación:

$$\int_8^{14} \varepsilon_{\lambda} L_{\lambda,b}(\lambda, T_{TRE}) d\lambda = \int_8^{14} L_{\lambda,b}(\lambda, T_b) d\lambda - \int_8^{14} (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda,b}(\lambda, T_{am}) d\lambda$$

# X. Mensurando

---

Error de medición =  
temperatura desplegada en el IBC  
– temperatura  $T_{TRE}$

Lectura  
del IBC



68.3°C

$T_{TRE}$

70.0 °C

# XI. Certificado de calibración

---

En el certificado de calibración, en la sección de “Resultados”, se incluirá:

1. Las dimensiones del área de trabajo para calibrar termómetros de radiación.
2. Los valores de las temperaturas de calibración.
3. Los valores de la temperaturas  $T_{TRE}$ .
4. El error de medición.

# XI. Certificado de calibración

---

5. La incertidumbre expandida.
6. El valor del factor de cobertura con un nivel de confianza de al menos 95%.

## XII. Uso de los platos como referencias

---

Cuando se usen los platos para servicios de calibración, se recomienda:

1. Realizar la calibración en un medio ambiente controlado (evitar polvo, obstáculos, fuentes de calor cercanas, corrientes de aire).

## XII. Uso de los platos como referencias

---

2. Colocar los termómetros de IR a la distancia adecuada para que su campo de visión esté dentro del área de trabajo especificada en el certificado de calibración.
3. Proteger la superficie emisora de polvo y suciedad que puedan adherirse a la superficie; si se intenta limpiarla, hacerlo con mayor cuidado como se haría con una lente óptica delicada.

# XIII. Secuencia

---

1. Recepción del equipo
2. Confirmación de la aptitud para ser calibrado
3. Instalación del arreglo experimental
4. Realización de la calibración
5. Estimación de las incertidumbres
6. Análisis de resultados
7. Emisión de certificado
8. Devolución del equipo

# XIV. Disponibilidad del servicio

---

El servicio de calibración de calibradores para termómetros de radiación estará disponible a partir de la segunda semana de Enero de 2010.

Se estima que inicialmente la calibración tomará entre tres y cuatro semanas, y tendrá un costo aproximado de \$15,000.

---

# Gracias



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

- ↪ Electromagnetismo
- ↪ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,  
DERECHOS RESERVADOS 2009