

Mediciones Confiables con Termómetros de Resistencia de Platino

Edgar Méndez Lango

Termometría, Metrología Eléctrica,

CENAM

Noviembre 2009



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

↪ Electromagnetismo
↪ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↪ Tiempo y Frecuencia



Contenido

1. Concepto de temperatura
2. La Escala Internacional de Temperatura de 1990
3. Termometría
4. Calibración de termómetros
5. Discusión

Temperatura

- Equilibrio mecánico y térmico
- Concepto de temperatura
- Temperatura: magnitud de base del SI
 - Escala Subjetiva
 - Escala Objetiva

Equilibrio

- Un sistema está en equilibrio si en el tiempo sus características que lo describen permanecen constantes
- Un sistema fuera de equilibrio evolucionará hasta alcanzar el equilibrio
- Estados permanentes no son estados de equilibrio

Escala subjetiva de temperatura

- Sensación de frío y caliente es útil para construir una escala
- Nuestro cuerpo tiene un sentido de caliente y frío
- Un conjunto de objetos con diferente temperatura, pueden ser ordenados del más frío al más caliente
- Nuestro sentidos pueden ser engañados por la historia térmica
- Incertidumbre de la escala subjetiva
 - Conductividad térmica
 - Capacidad calorífica
- **Temperatura** es una propiedad física que permite conocer si un cuerpo está más caliente

Escala Objetiva

- Puntos fijos.
Fenómenos físicos que se dan a valores determinados de temperatura
- Instrumentos
Para interpolar entre los puntos fijos
- Reglas de interpolación
Para asignar valores entre los puntos fijos

La Escala Internacional de Temperatura de 1990



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

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



Escala Internacional de Temperatura de 1990

La **EIT-90** es el acuerdo internacional para la medición de temperatura

Temperatura termodinámica, símbolo: T

Unidad: kelvin, símbolo: K

Temperatura Celsius, símbolo: t

Unidad: grado Celsius, símbolo: $^{\circ}\text{C}$

$$t / ^{\circ}\text{C} = T / \text{K} - 273,15$$

El kelvin

Se define como la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple de agua

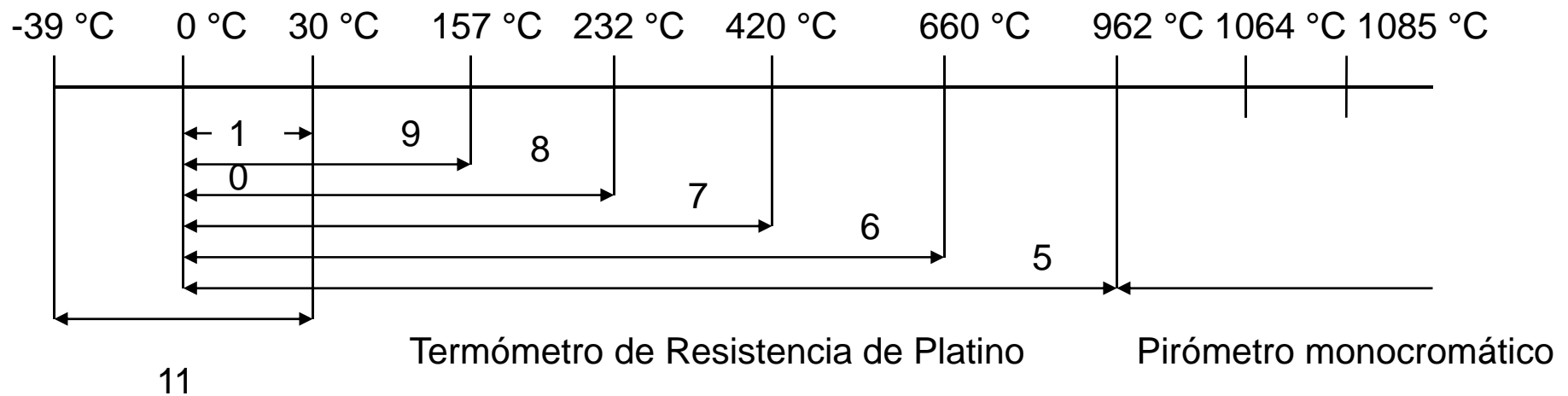
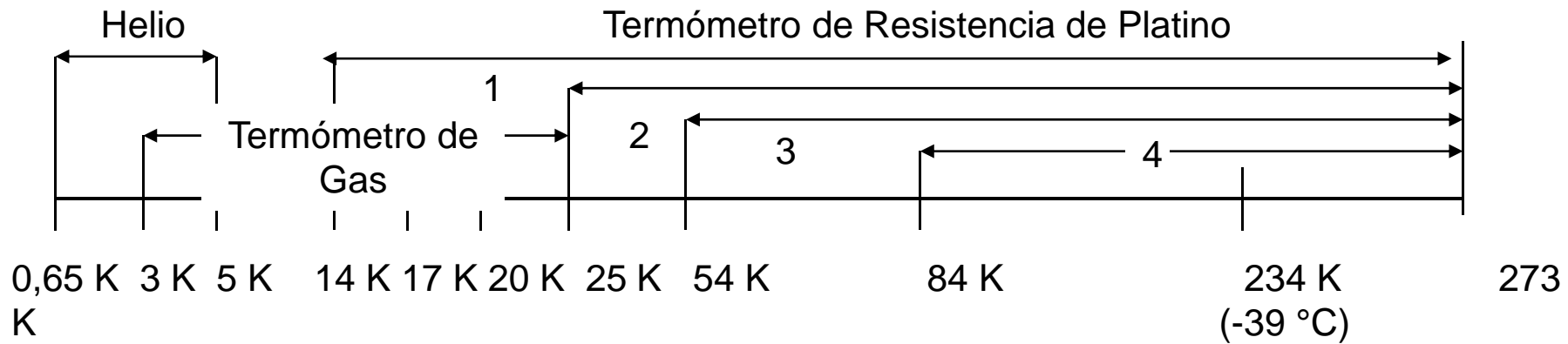
Principios de la EIT-90

La EIT-90 se extiende desde 0,65 K hasta la temperatura más alta prácticamente medible en términos de la ley de radiación de Planck.

La EIT-90 se define mediante:

- 17 Estados de equilibrio entre fases de sustancias puras (Puntos fijos)
- Instrumentos de Interpolación (Termómetros)
- Funciones de referencia (Reglas de interpolación)

Intervalos e instrumentos de definición



Termometría

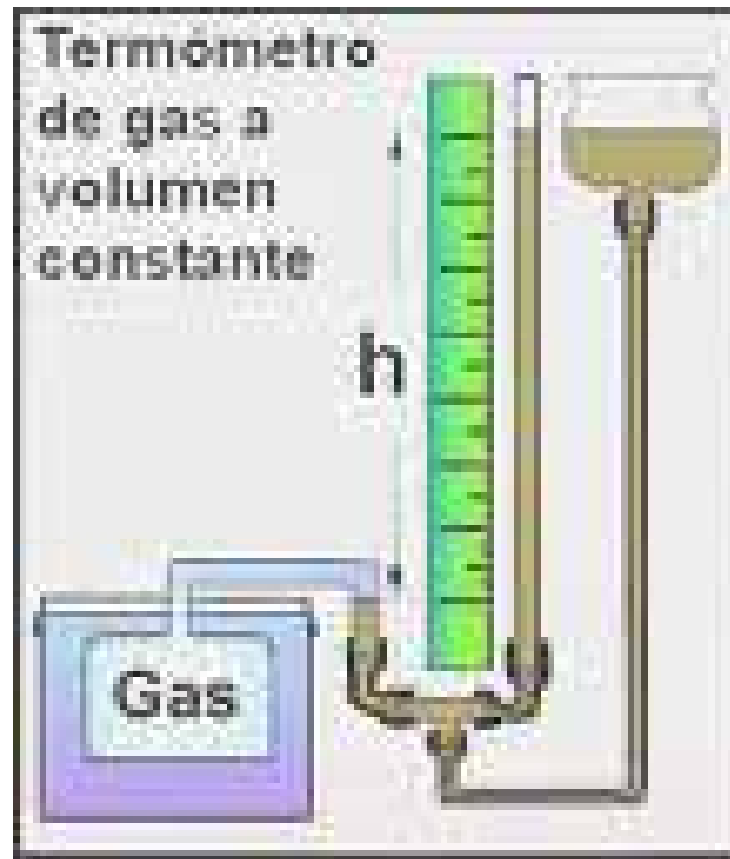
- Concepto de termómetro
- Termómetros primarios y Secundarios
- Ley Cero de la termodinámica
- Segunda Ley de la termodinámica

Principio de termometría

“Un termómetro mide su propia temperatura”

- *El trabajo experimental exige “llevar” la temperatura del termómetro a la temperatura de aquello que se quiere medir.*
- *El análisis crítico de nuestra práctica a la luz de esta Ley nos ayudará a identificar errores sistemáticos*

Termómetro primario de gas

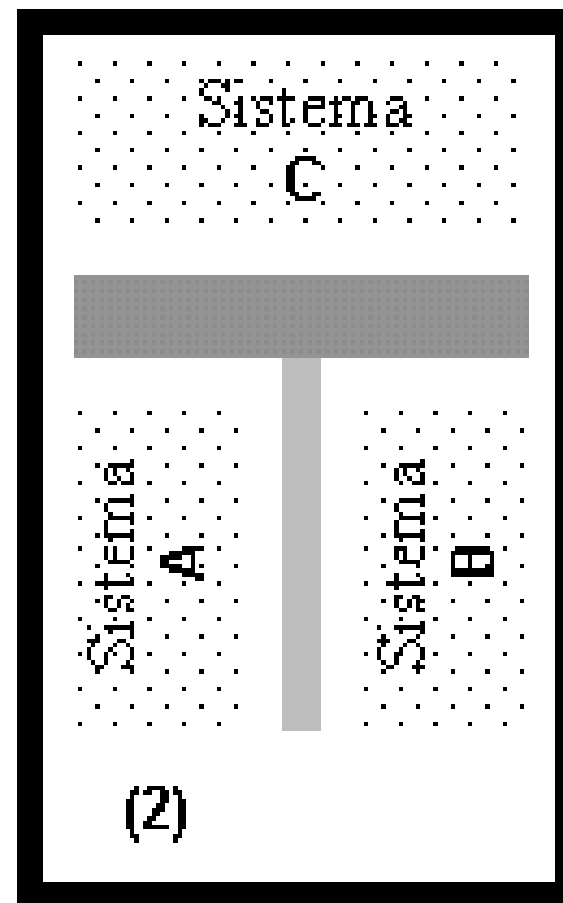
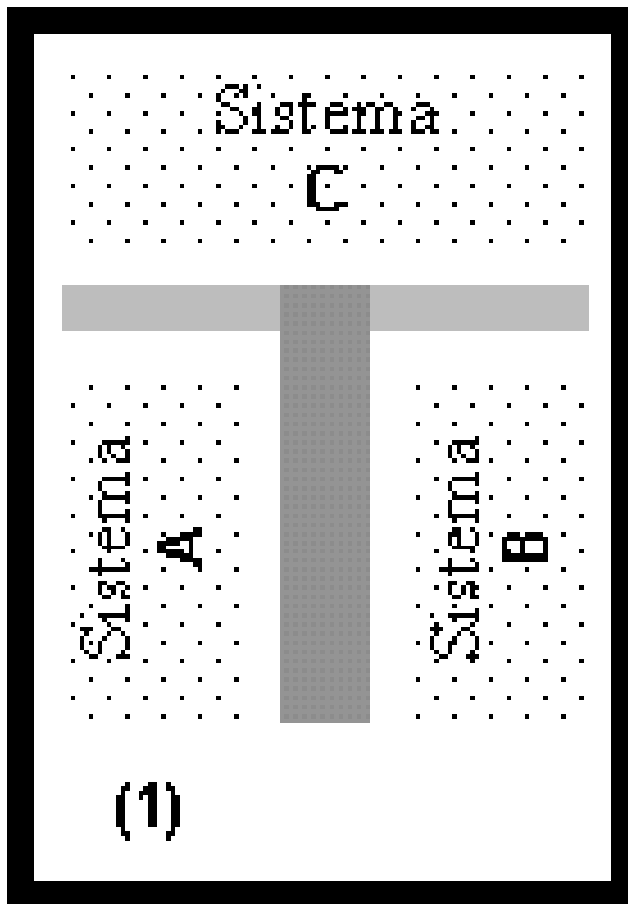


Termómetros Secundarios

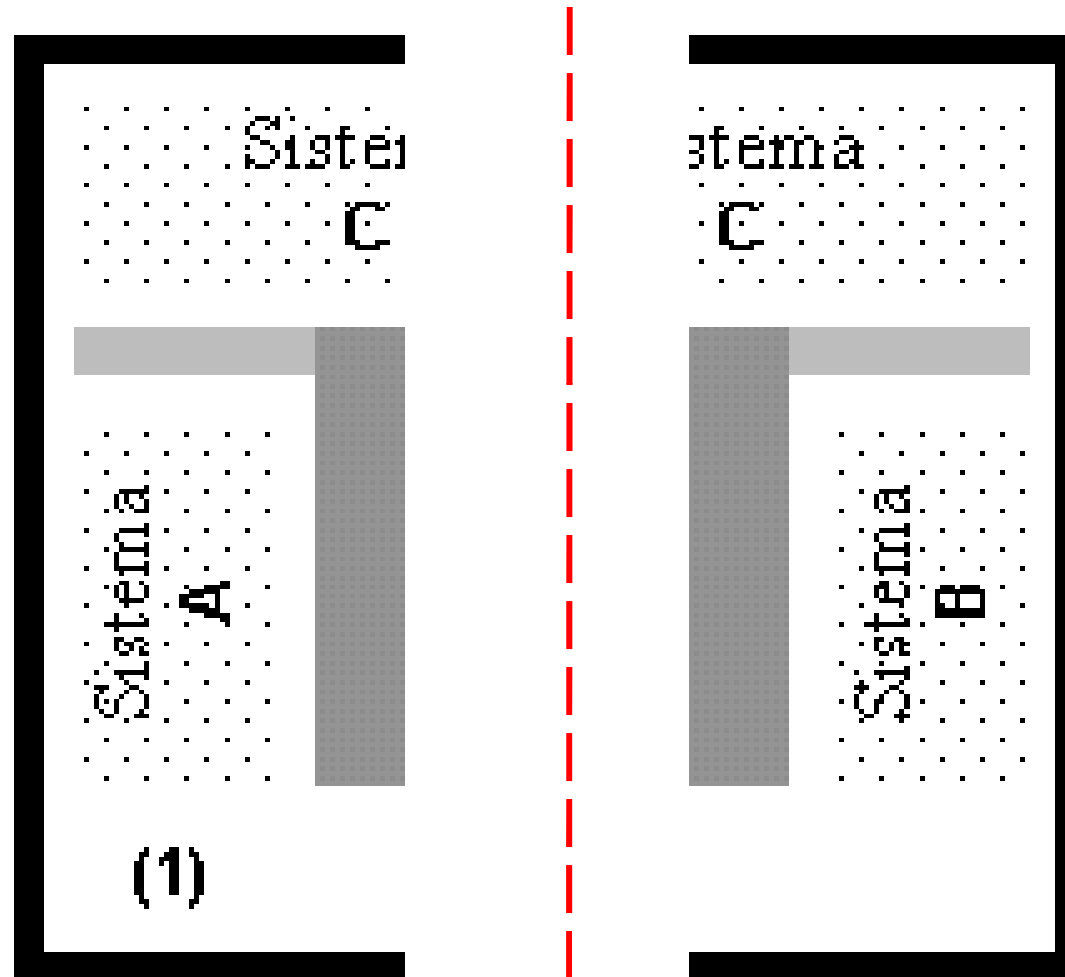
- Propiedad termométrica
 - Fenómenos físicos que dependen de la temperatura
- Lector que indica el cambio del fenómeno escogido
- una ecuación o regla de correspondencia que relaciona la propiedad con la temperatura



Ley cero de la termodinámica



Equivalencia y Trazabilidad



Transferencia de calor (Fourier)

Definición:

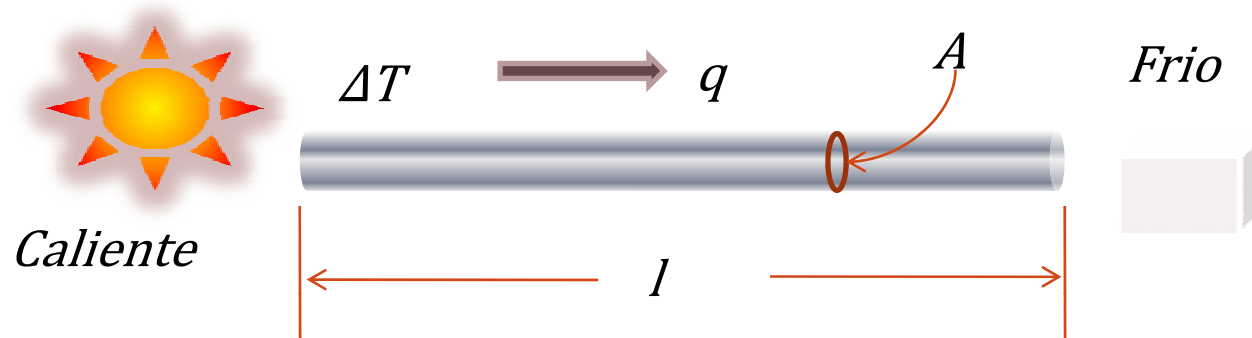
Calor es la forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro por diferencia de temperatura en cierto tiempo.

$$\dot{q} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Por otro lado

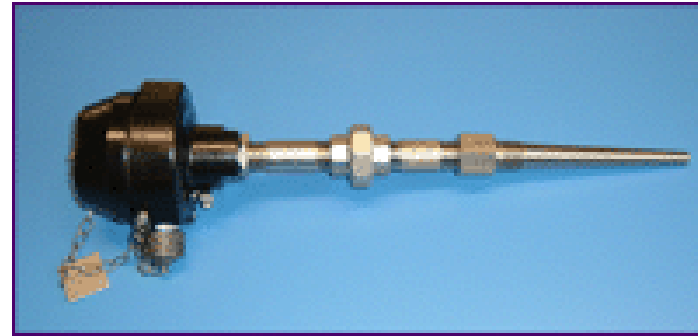
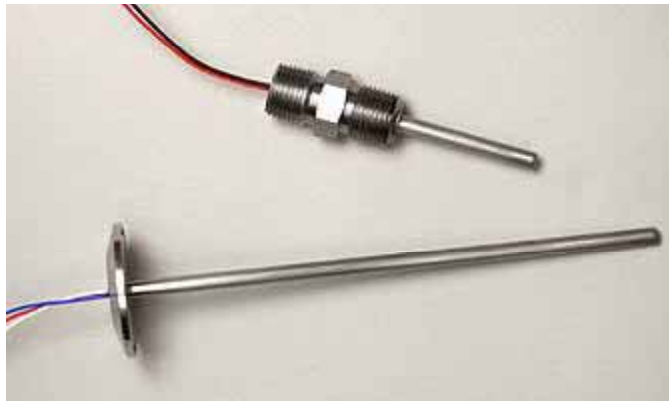
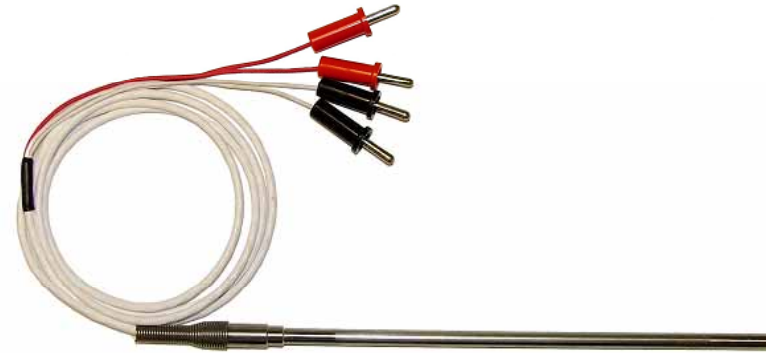
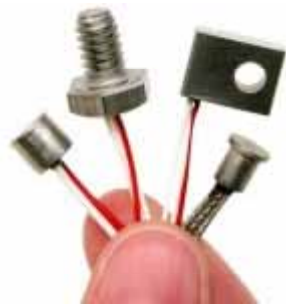
$$q \propto \frac{\Delta T \cdot A}{l}$$

Conducción de calor

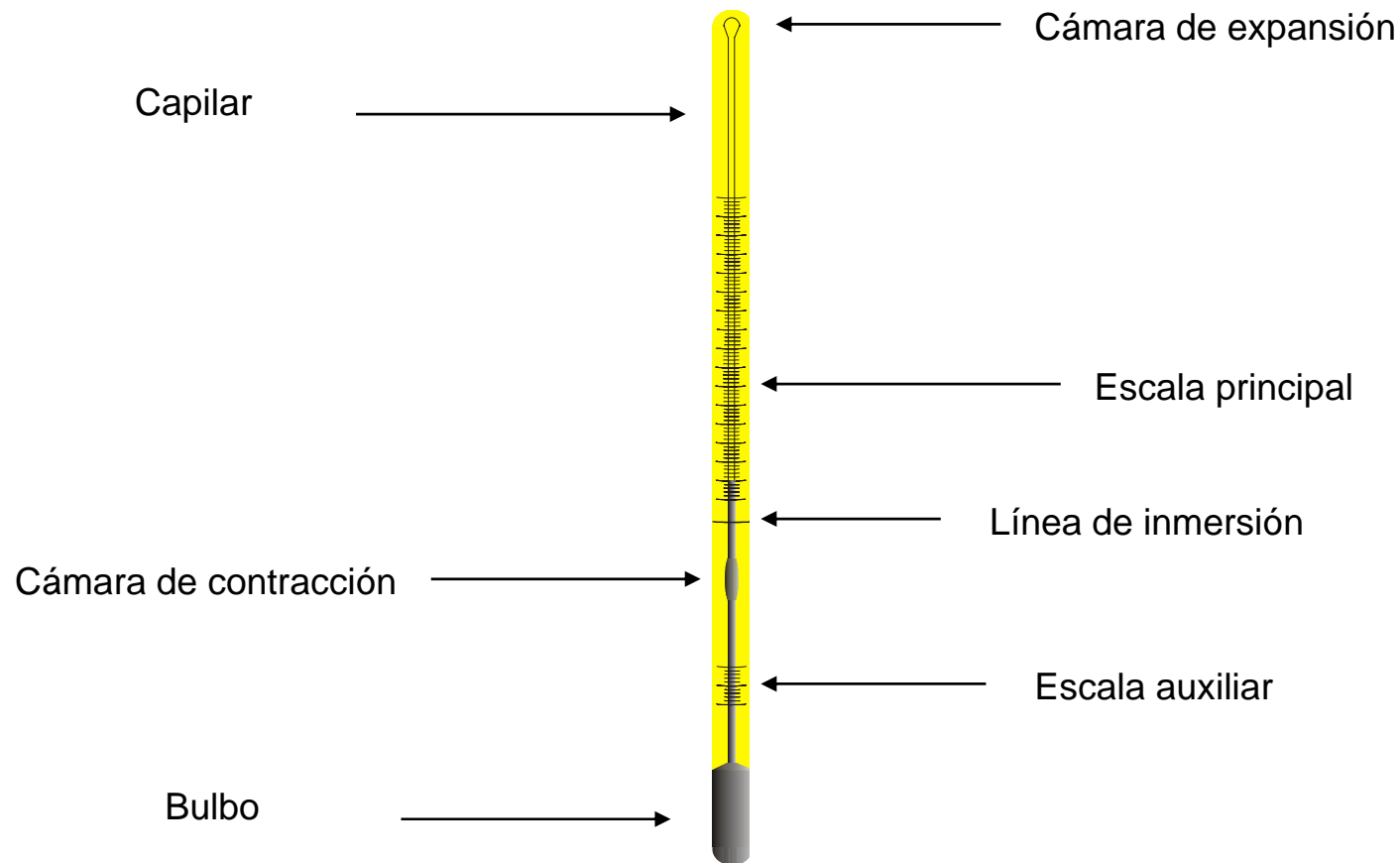


$$q = \frac{\lambda \Delta T \cdot A}{l}$$

La forma de los termómetros



Termómetro de Líquido en Vidrio



Calibración

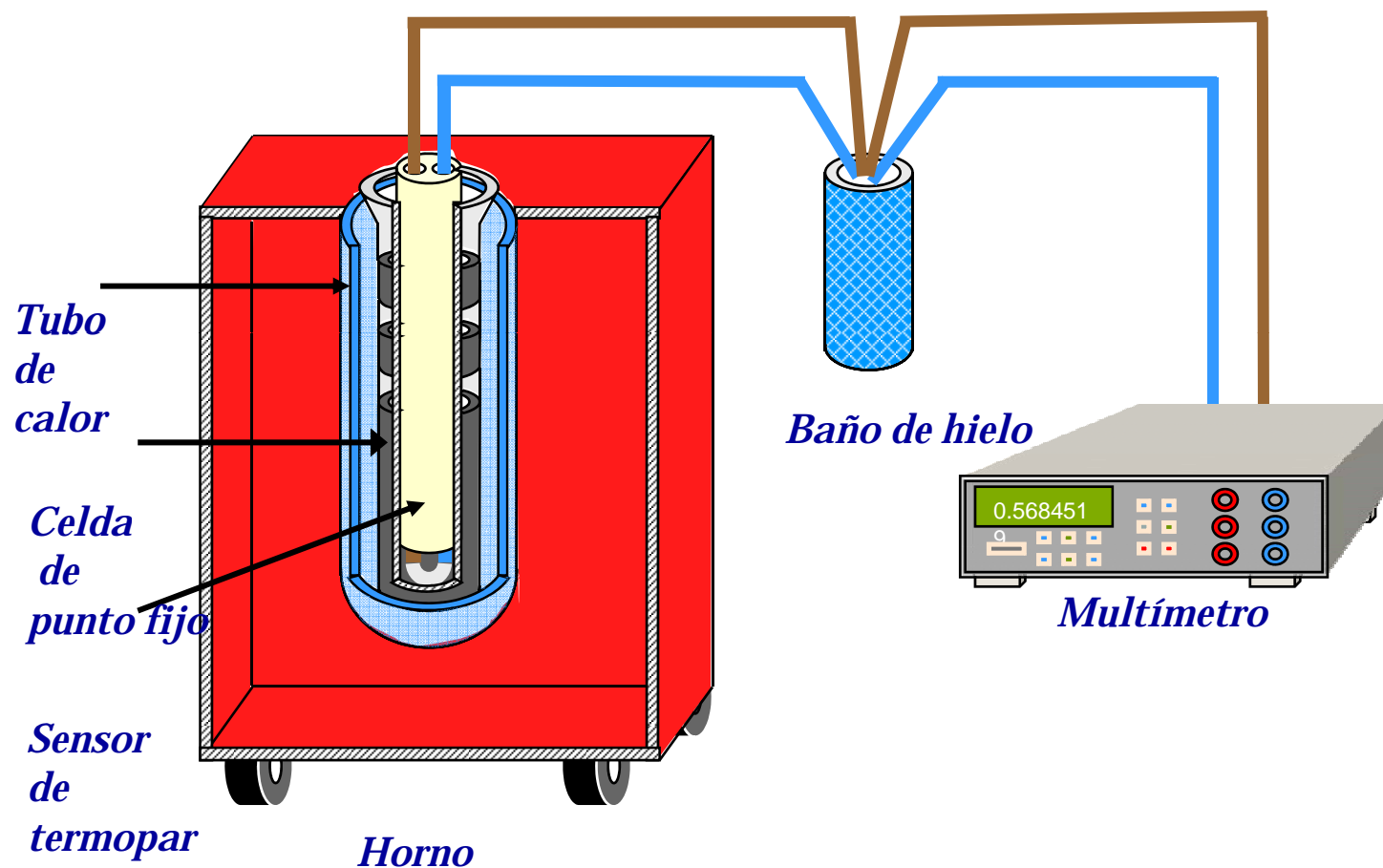


**Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009**
18-20 de noviembre

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



Sistema de calibración en Puntos Fijos



El punto de hielo (0 °C)

- Definición del punto de hielo
 - Tiene asignado el valor de 0 °C (273,15K) a una presión atmosférica de 101 325 Pa (P_0)
 - Para una presión P distinta:

$$t / ^\circ\text{C} = 0,01 \cdot (1 - P / P_0)$$

- Preparación
 - Agua destilada
 - Termo
 - Reproducibilidad: 2 mK

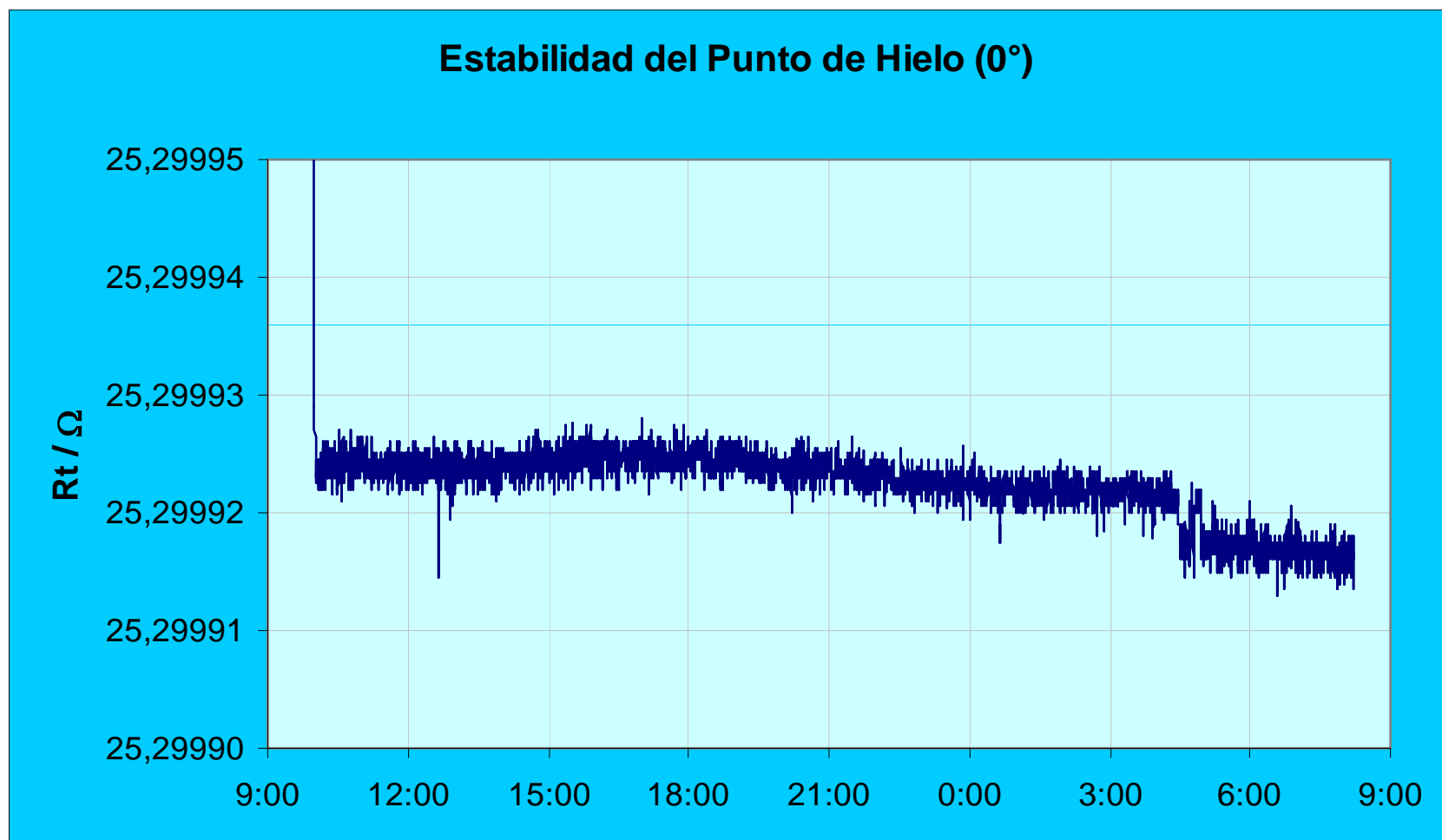
El punto de hielo (0 °C)

Fuentes de Incertidumbre

- Repetibilidad
 - Inmersión
 - Contacto térmico
 - Proporción sólido-líquido
- Estabilidad

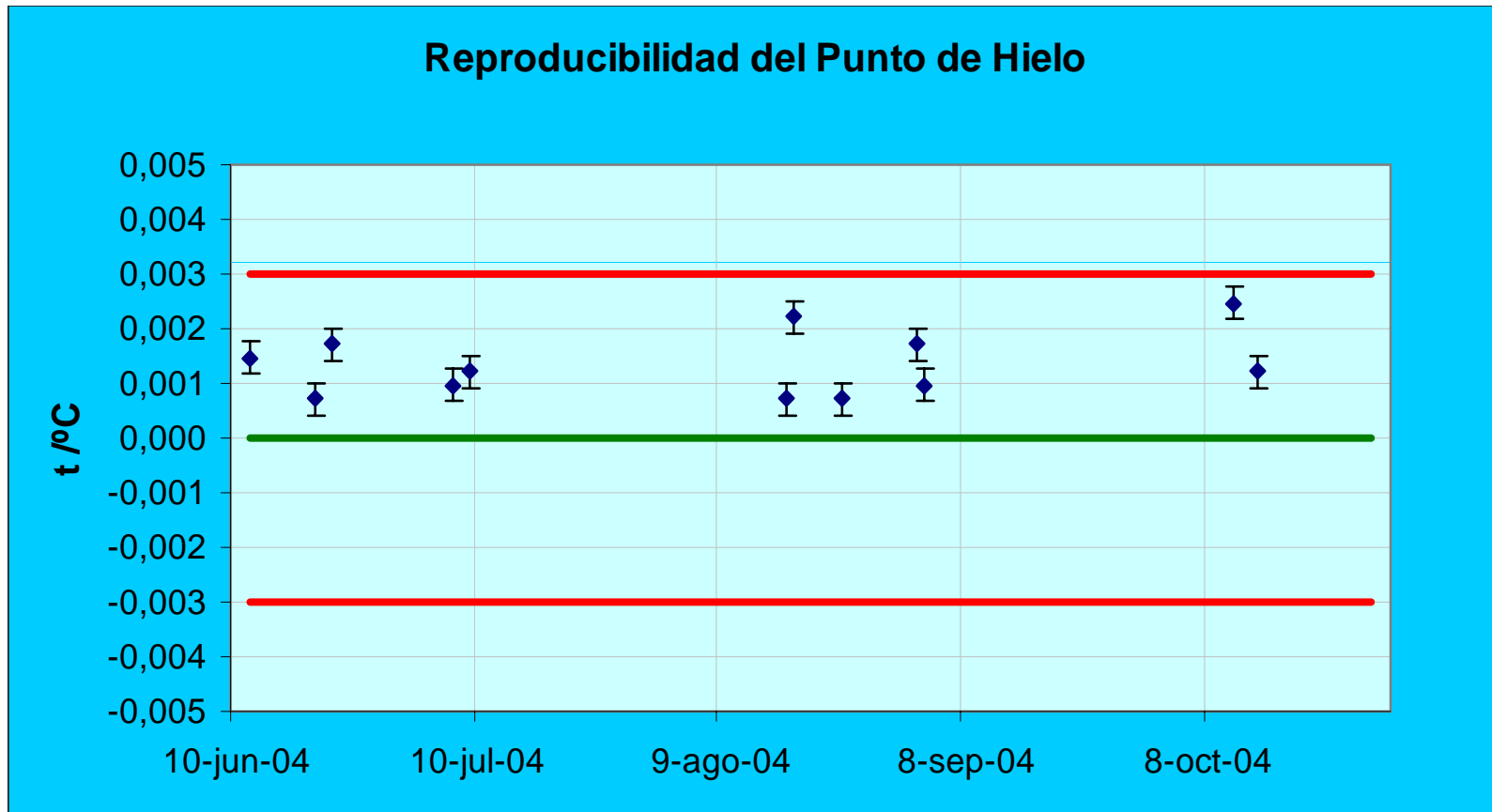
Por tratarse de un punto fijo en principio es alta (0,2 mK)
- Reproducibilidad
 - Calidad del agua destilada
 - Método de preparación
 - Trituración del hielo
 - Precauciones de limpieza

El punto de hielo (0 °C), estabilidad

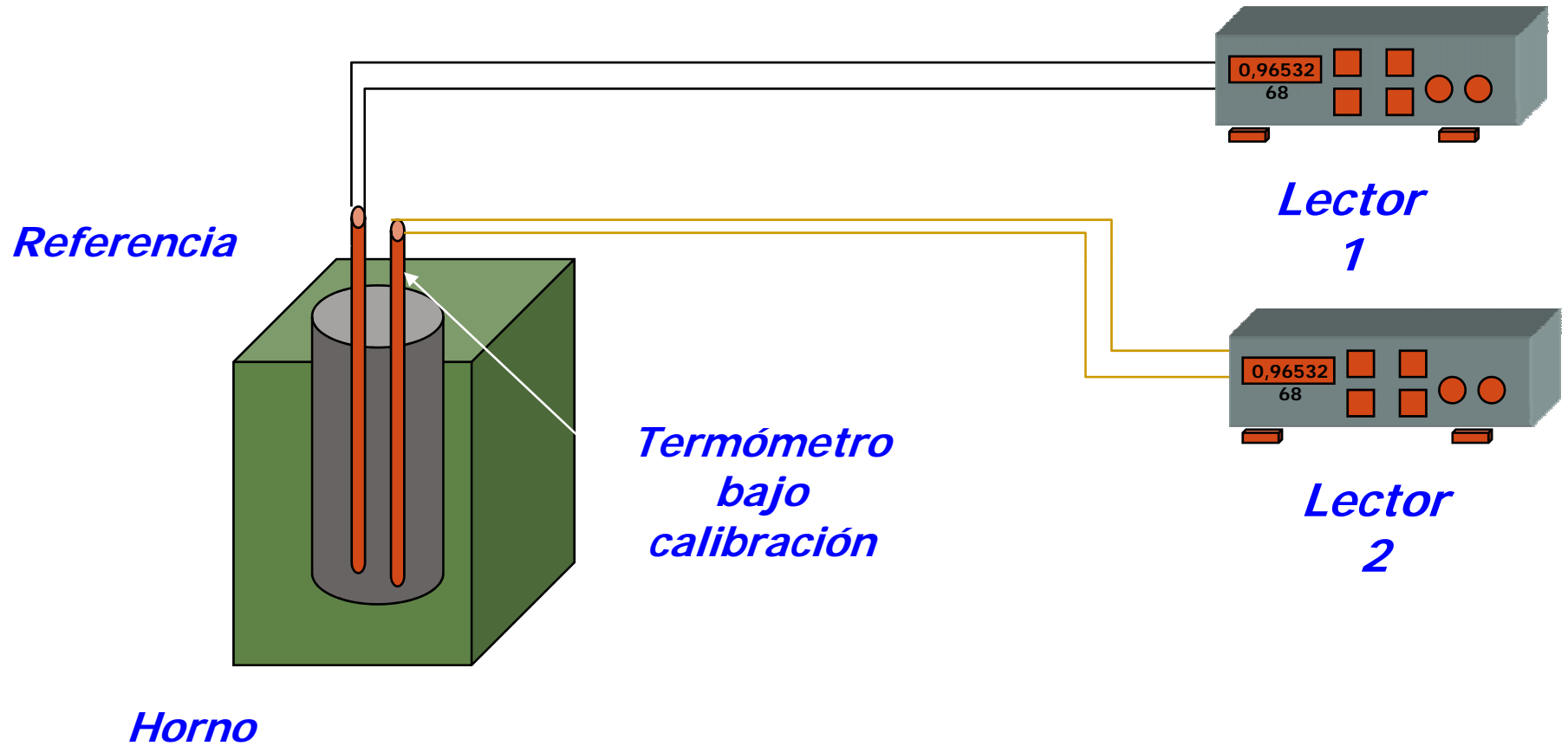


El punto de hielo (0 °C), reproducibilidad

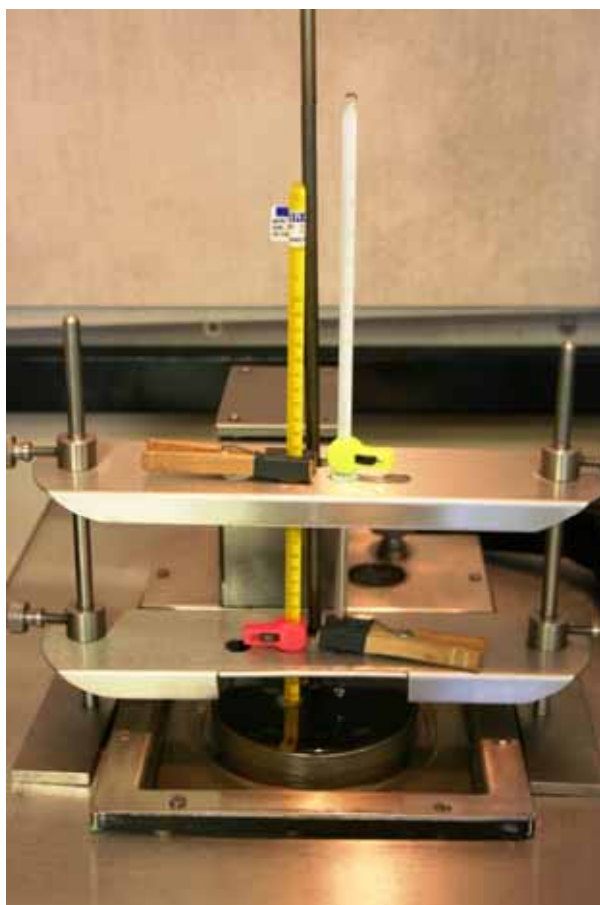
Carta de control del punto de hielo



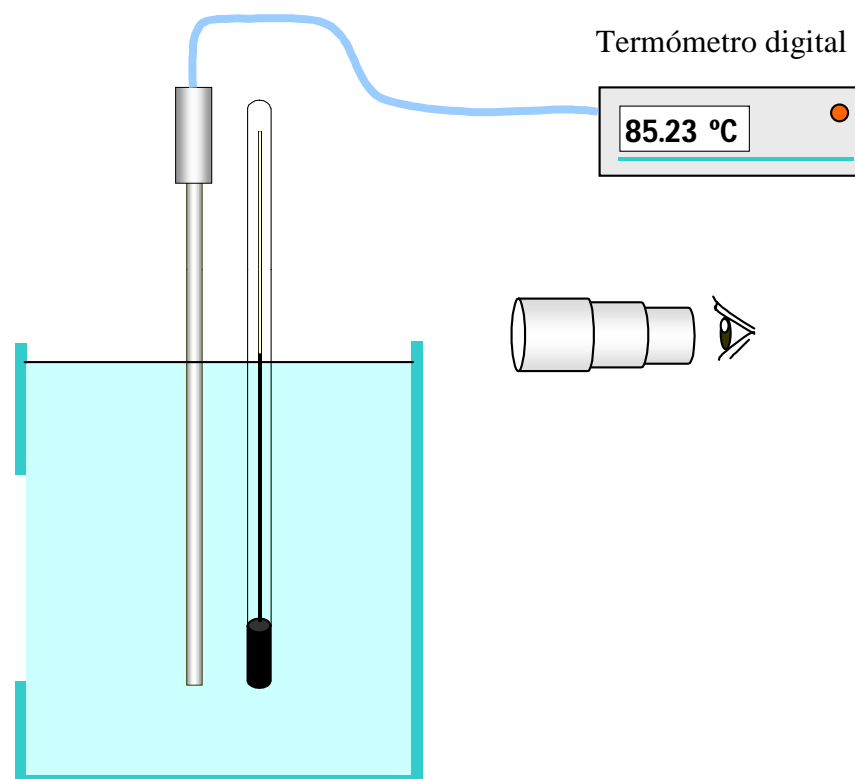
Calibración por comparación



Calibración por comparación



Calibración por comparación



Inmersión total

Termómetros de referencia trazables a la EIT-90

- Trazabilidad a partir de una calibración por comparación
- Cualquier tipo de termómetro puede ser trazable a la EIT-90
- Principales termómetros normalizados
 - Termopares de metal base
 - Termómetros de Líquido en Vidrio (TLV)
 - Termómetros de Resistencia de Platino

Organismos Internacionales:

ASTM, IEC, DIN, OILM, etc.

Medios de temperatura controlada

- Baño líquido
 - Estabilidad
 - Recirculación (vertical)
 - Definir región de trabajo
- Horno de pozo seco
 - Estabilidad
 - Uniformidad
 - Gradientes horizontales (entre pozo y pozo)
 - Gradientes verticales

Medios de temperatura controlada

Fluidos de trabajo y bloques igualadores recomendados

Líquido	Intervalo / °C
Aceite halocarbon	-100 a 70
Alcohol isopropílico	-80 a 20
Alcohol etílico	-50 a 20
Agua destilada	5 a 80
Ethylene glycol	-20 a 110
Aceite mineral	20 a 160
Aceite silicón 200.50	50 a 250
Aceite silicón 710	100 a 300

Metal	Temp. Max.
Cobre	300 °C
Aluminio	400 °C
Latón	700 °C
Acero Inox.	850 °C
Inconel	1100 °C
Níquel	1200 °C

Medios de temperatura controlada (baja temperatura)

Crióstato

- Sistema que opera bajo condiciones adiabáticas
- Intervalo de operación desde temperatura ambiente:
 - Con nitrógeno líquido hasta $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Con helio líquido hasta 4 K

Alternativa para el punto de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Termo con nitrógeno líquido
- Bloque igualador de cobre
- Temperatura definida por un TRP patrón

Discusión



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

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



Discusión

- Temperatura es una propiedad de equilibrio
- Un termómetro debe alcanzar el equilibrio térmico con aquello que se quiere medir
- Procurar el contacto térmico
- Las fugas térmicas pueden generar errores con buena reproducibilidad
- Necesario experimentar todo el tiempo para conocer si la lectura de un termómetro es genuina.

Gracias por su atención



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo
↪ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↪ Tiempo y Frecuencia

